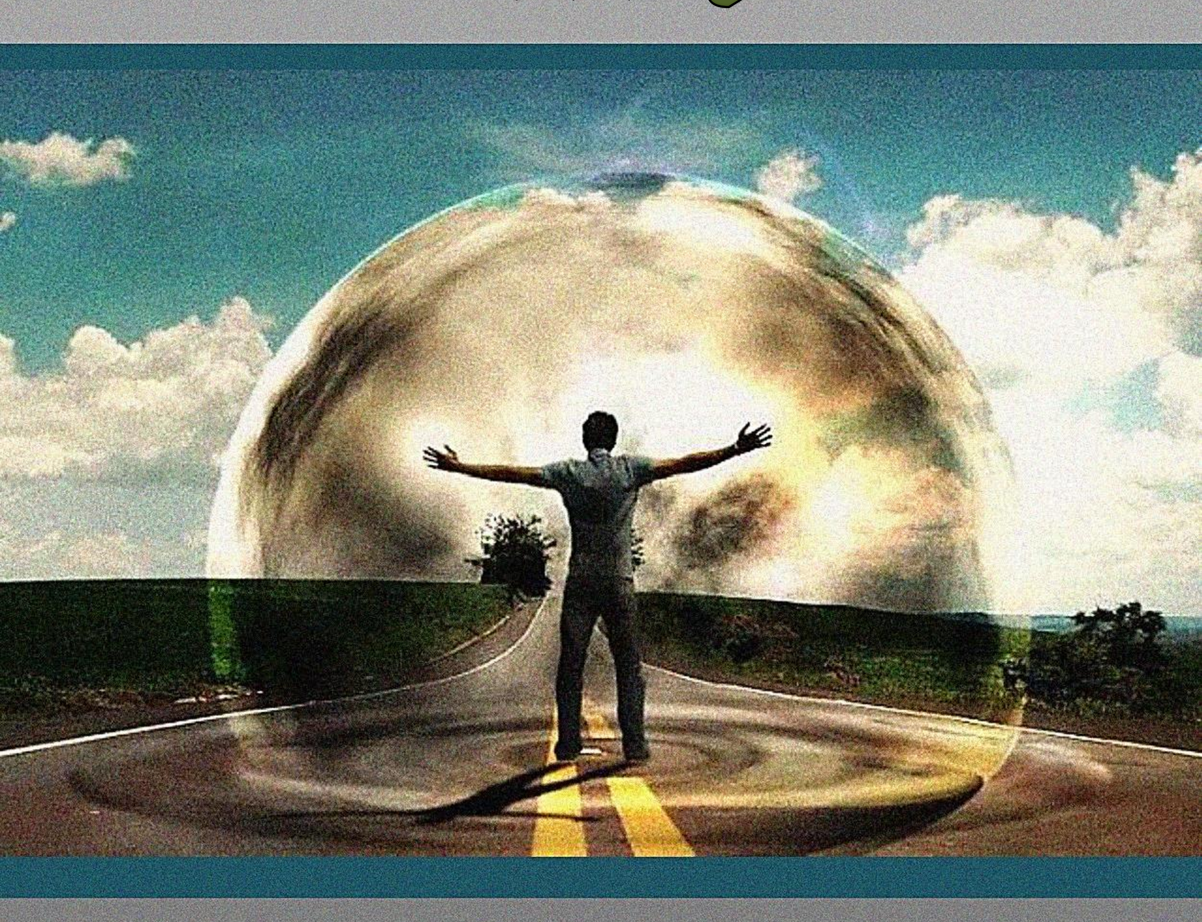
القوى في الطبيعة

ف . جريجوربيف

ج. مياكيشيف



تصميم غلاف :علي مولا

ГРИГОРЬЕВ В., МЯКИШЕВ Г.

СИЛЫ В ПРИРОДЕ

Издательство «Наука»
Москва

ف. جريجوريف
ج. مياكيشيف

القوى في الطبيعة

ترجمة
الدكتور داود سليمان المنير

الاتحاد السوفييتي – موسكو

на арабском языке

١٩٨١

كلمة المؤلفين

ان صورة الافعال المتبادلة فى الطبيعية ، تبدو لاول وهلة معقدة الى درجة لانهائية . ولكن كافة انواعها المتعددة ، يمكن حصرها فى نهاية الامر بعدد قليل من القوى الاساسية .

ولكن ما هى القوى الاساسية ؟ وكم يبلغ عددها ؟ وكيف يمكن ان تنحصر فيها تلك الصورة المعقدة برمتها ، للعلاقات القائمة فى العالم المحيط بنا ؟ هذا ما سنتحدث عنه فى كتابنا .

لقد صدرت الطبعة الروسية الاولى من هذا الكتاب قبل خمسة عشر عاما تقريبا . وخلال هذه الفترة الزمنية ، بقيت الافكار الرئيسية المتعلقة بالافعال المتبادلة الاساسية ، ثابتة باكملها دون تغيير . ولكن ظهرت الى جانبها افكار جديدة كثيرة . ولايقتصر الامر فقط على اكتشاف جسيمات جديدة وتأثيرات جديدة واصناف جديدة من الموضوعات الفيزيائية والفيزيائية الفلكية — وكل اكتشاف من هذا القبيل ، يضيف لمسات مهمة جديدة الى الصورة العامة لمظاهر الافعال المتبادلة الاساسية . وعلى ما يظهر يمكن التحدث الآن عن النزعة الظاهرة بجلاء ، لاحداث تغييرات مبدئية فى هذه الصورة : استخدام طريقة موحدة لبحث نوعين (من اربعة

انواع) من الافعال المتبادلة الاساسية ـ المغنطيسية الكهربائية والضعيفة .

وهذه الطبعة الخامسة من الكتاب ، تتناول بالبحث اهم المنجزات الفيزيائية الحديثة .

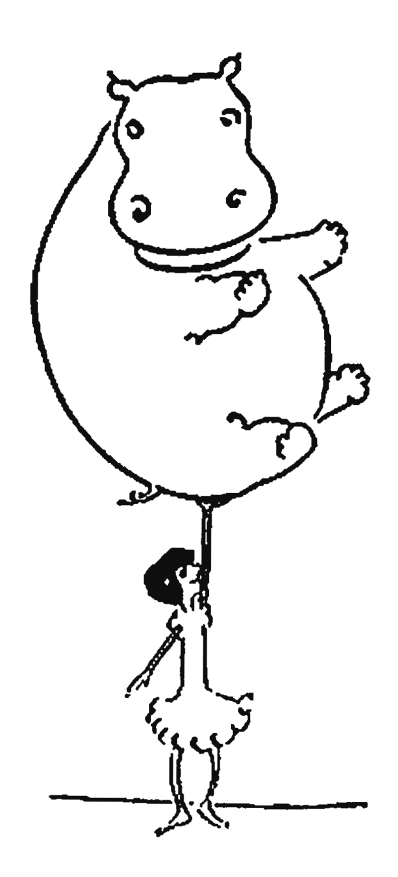
وكانت عملية تأليف هذا الكتاب ممتعة ، بالرغم من الصعوبة التي واجهتنا في بعض المواد الخاصة . وربما ستحتاج قراءة الكتاب الى بذل بعض الجهود المعينة من وقت الى آخر .

الفصل الاول

عوضا عن المقدمة

الكلمات ، الكلمات ، الكلمات

وليم شكسبير ، مسرحية « هاملت »



١ «القوى» فى الكلام العادى

من قوة العاطفة الى قوة البخار — ان كلمة «القوة» سجلت رقما قياسيا خاصا في عدد معانيها . ونجد ان هذه الكلمة تكاد تحتل اكبر مكان فى كل معجم وسيط تقريبا . ففى معجم دال * مثلا ، تعرف القوة بما يلى : المصدر ، البداية ، السبب الرئيسى (الخفى) لكل فعل وحركة ومحاولة ودافع ولكل تغير مادى فى الفراغ ؛ أو : بداية تغير الظواهر الكونية » . ولكن «حقيقة الامر» لاتنتهى بهذا الشرح المسهب . والآن ما هو رأى القارىء بتعريف آخر للقوة ، ورد فى نفس معجم دال بالذات ، وهو كما يلى : «القوة هى عبارة عن مفهوم مجرد للخاصية العامة للمادة والاجسام ،



---

* معجم دال : هو معجم وسيط روسى — روسى ، وضعه العالم اللغوى الروسى ديمير دال — المترجم .

لا يفسر اى شيء ، بل يجمع فقط كافة الظواهر تحت فكرة واحدة مشتركة واسم مشترك » .

ان تنوع المعانى التى تستخدم فيها كلمة « القوة » يعتبر مدهشا حقا ، حيث نجد كل الانواع التالية : القوة البدنية ، قوة الارادة ، القوة الحصانية وقوة العقيدة ، قوى الكوارث الطبيعية وقوة العاطفة ، قوة البخار وغيرها الى آخره . وهناك عدد لا يحصى من الامثال ، ابتداء من التأكيد الواضح على ان « القوة تكسر القشة » وانتهاء بالاعتقاد المبهم بأنه « لا فائدة من الحصان الجميل اذا كان عديم القوة » الذى نجده مع ذلك فى معجم دال أيضا .

ولكن من المحتمل ان يكون معجم دال هذا ، قد اصبح قديما بكل بساطة . ولنرجع الآن على سبيل المثال الى معجم اللغة الروسية الذى وضعه العالم اللغوى السوفييتى س . أوجيكوف عام ١٩٥٣ . وهنا لانعثر بصورة عامة على اى تعريف لهذه الكلمة ، بل نجد عشرة تفسيرات مختلفة مرة واحدة . ومن المستبعد ان يعتقد البعض فى عدم امكانية اضافة عدد آخر يساويه من هذه التفسيرات بالرغم من ان المجال هنا واسع للغاية ، ابتداء من « القوة الطاردة المركزية » و « قوة الاعتياد » وانتهاء بـ « قوة الاحتمال » .

قوة الحب الكهربائية — نجد بطبيعة الحال ان كلمة « القوة » تستخدم فى الشعر ايضا بصورة متنوعة للغاية . وينطبق ذلك على الاعمال الادبية لكل من الشعراء القدامى والمحدثين على حد سواء . وسوف نقتصر هنا على بعض الامثلة فقط ، لان اى قارىء يستطيع ان يأتى بضعف او ثلاثة اضعاف هذا العدد من الامثلة بسهولة .

يقول الشاعر الروسى العظيم آ . بوشكين فى قصيدته « القوة والضعف » ما يلى :

النسر يصطاد الصقر، والصقر يصطاد الاوز
والاسماك من التماسيح تخاف ...
النمر يفترس الذئب ، والفأر من رؤية القط يهتز
ما النصر الا للاقوياء لا الضعاف ...

وجاء في قصيدة الشاعر الروسي أ . تفاردوفسكي « فاسيلي تيركين » ما يلي :

برهنت قوة لقوة اخرى بجد
انهما ليستا مثل الند الند .
فكم من معدن اقوى من معادن كثار
ونار اقوى وارهب من كل نار ...

ويمكن استخدام القوة في الشعر بمعناها العلمي تقريبا ، كما جاء في قصيدة الشاعر ر . بيرنس « الخاتم الذهبي » :

سألتني فتاة من الحسان
لم الخاتم الذهبي في البنان
عندما يتوى الزواج اثنان .. ؟
أجبتها فورة ولست غلطان :
الحب قوة كهربائية ...
والذهب مادة توصيلية !

ونحن نحاول هنا بعيدا عن الفكرة الاصلية ، ان نوضح السبب الذي جعل كلمة « القوة » تكتسب هذا العدد الكبير من المعاني المختلفة ، لأنه « لا يمكن حصر ما لايحصر » وخاصة مع البقاء ضمن حدود العلوم الطبيعية .

ان تلك « القوى في الطبيعة » التي جعلناها عنوانا لكتابنا هذا ، هي عبارة عن موضوع للبحث في علم الفيزياء .

قارئاتي والمسارع — ليس من العبث ان يقف علم الفيزياء

فى المرتبة الاولى للعلوم المحضة . وربما يتذكر القارىء تلك الشهرة العظيمة التى اكتسبها الرامى تارتارين من وراء مهارته المدهشة فى الرمى على قبعة الرأس . ولكن حتى تارتارين هذا ربما كان سيشعر بالارتباك لو طلب منه ان يطلق رصاصة يجب أن تخترق قطعة نقود صغيرة تقع على مسافة عدة عشرات الآلاف من الكيلومترات . ولكن مثل هذه المسألة قد اصبحت قابلة للحل الآن بواسطة المسارعات العملاقة للجسيمات الذرية .

والقوانين الفيزيائية فى الوقت الحاضر ، قادرة على الوصف الكمى المدهش الدقة ، لعدد هائل من الظواهر ، مثل حركة الاجسام الفضائية ، مسارات الصواريخ ، العمليات التى تحدث فى داخل الذرات ، انحلال الجسيمات الذرية وتحولاتها المتبادلة وغير ذلك .

وعلى اية حال ، يستطيع كل من أنهى تعليمه الالزامى العام ، ان يكون لنفسه فكرة معينة عن هذا العلم . وقد تبدو الفيزياء بمختلف المظاهر ، حتى انها تعتبر مملة بالنسبة للبعض ، ولكن لايستطيع احد بتاتا ان يلومها على عدم دقتها عندما يتعلق الامر بتحديد المفاهيم الاساسية للفيزياء . ومن الطبيعى ان نعتقد بان مفهوم القوة فى علم الفيزياء بالذات ، قد يكون ذا مدلول واحد ، محدد بدقة . والفيزياء تحقق هذه الآمال الى درجة كبيرة ، ولكن الامر ليس بهذه السهولة كما سنرى فيما بعد .

ولنتبين اولا ، كيف دخل هذا المفهوم فى العلم ، وما هى التحولات التى تعرض لها بعد ذلك . ان هذه الكلمة ، اى الفيزياء ، لم تبتكر من جديد ولم تشتق من لغة ميتة كما هى الحال بالنسبة لاكثر المصطلحات العلمية ، مثل : الالكترون ، الانتروبيا ، التداخل ، وهلم جرا . انها دخلت فى العلم من لغة حية ، ولهذا

السبب لم تتخلص من الظلال المحيطة باستخدامها الاعتيادى ، الا بعد مدة من الزمن وبصعوبة ملموسة .

ايهما اوضح فهما : سقوط الحجر ام حركة القطة ؟ — ان الاحاسيس التى تتولد عند الانسان عندما يرفع حملا وعندما يحرك الاجسام المحيطة وجسمه بالذات ، اصبحت اساسا لفهم مدلول القوة فى علم الميكانيكا . وقد جاء فى قول لاويه فى كتاب « تاريخ الفيزياء » ما يلى : «بما ان كل استخدام معقول للقوة من قبل الانسان ، يسبقه فعل ارادى ، فقد بحث العلماء وراء المفهوم الفيزيائى للقوة عن شىء ما اكثر عمقا ، شىء ما وراء الطبيعة ، اى ميتافيزيقى ، او محاولة ما خاصة بالاجسام ؛ وبالنسبة لقوة الجاذبية على سبيل المثال ، تتمثل فى المحاولة للاتحاد مع الاجسام المماثلة . ومن الصعب علينا ان نفهم وجهة النظر هذه» . وبنفس هذه الطريقة ، ناقش العلماء فى قديم الزمان ، قيام عابر السبيل او الرجل الماشى المتعب ، بالاسراع من خطاه كلما اقترب من داره ، وزيادة الحجر الساقط من سرعة سقوطه كلما ازداد قربا من الارض الام . ومهما بدا ذلك غريبا بالنسبة لنا ، فقد بدت حركة الكائنات الحية فى ذلك الزمان ، وعلى سبيل المثال حركة القطة ، اكثر بساطة وفهما بكثير ، من سقوط الحجر .

٢ القوة فى علم الميكانيكا

كيف كان نيوتن ينظر الى العالم — لقد استطاع كل من العالمين غاليليو ونيوتن فقط ، ان يحررا مفهوم القوة تماما ، من الرغبات ، « المحاولات » وغير ذلك من السمات المشابهة ،

الخاصة بالمادة الحية : واصبحت الميكانيكا التقليدية لغاليليو ونيوتن ، مهدا للادراك العلمى لكلمة « القوة » .

وقد كتبت العبارات التالية على ضريح مبتكر الميكانيكا التقليدية ، العالم الشهير نيوتن :

هنا يرقد

السير اسحق نيوتن

العالم الذى استطاع بقوة ذكائه الفذة
ان يفسر لاول مرة بواسطة طريقته الرياضية ،
حركات واشكال الكواكب ،
مسالك المذنبات ، مد وجزر المحيط ،
وهو اول من بحث انواع الاشعة الضوئية ،
وخصائص الالوان الناجمة عن ذلك ،
تلك الخصائص التى لم يفكر احد فى وجودها قبله .
المفسر المجد ، الثاقب الفكر والموثوق به ،
الطبيعة والآثار القديمة والكتاب المقدس ،
وقد مجد فى تعاليمه الخالق العظيم .
لتبتهج البشرية الزائلة لأنه قد عاش بين ظهرانيها
مثل هذا العالم الذى يعتبر زينة الجنس البشرى .
ولد فى ٢٥ كانون الاول ١٦٤٢ .
توفى فى ٢٠ آذار ١٧٢٧ .

ان صورة الكون العظيمة والمتكاملة التى وضعت استنادا الى ابحاث نيوتن العلمية ، لم تدهش معاصريه فحسب ، بل ادهشت وما تزال تدهش اجيالا عديدة من العلماء حتى الوقت الحاضر .

واستنادا الى نظريات نيوتن ، يتألف الكون برمته من « جسيمات متحركة ، صلبة ، ذات وزن ولا يمكن اختراقها . » وهذه « الجسيمات

الاولية صلبة تماما : اذ انها اكثر صلابة الى حد لايقاس ، من الجسم الذي يتألف منها ، وهي صلبة الى درجة عظيمة بحيث لا تبلى بتاتا ولا يمكن تحطيمها مطلقا » . ان الجسيمات تختلف عن بعضها البعض بصورة رئيسية ، من حيث خصائصها الكمية . ان كل ثروة الكون وكل انواعه الكيفية المتعددة ، ما هي الا نتيجة للاختلاف في حركة الجسيمات . والحركة هي العنصر الاساسي في صورة الكون هذه . اما الصورة الداخلية لجوهر الجسيمات ، فتأتي في الدرجة الثانية ، لأن الشيء الاساسي هو كيفية تحرك هذه الجسيمات .

قوانين نيوتن للحركة — ان القاعدة الاساسية لمثل هذه الصورة الموحدة للكون ، تتمثل في الطابع الشامل لقوانين حركة الاجسام التي اكتشفها نيوتن ، والتي وضعها في صيغة رياضية دقيقة . ويخضع لهذه القوانين بدقة مدهشة ، كل من الاجرام السماوية الهائلة والاتربة الناعمة للغاية التي يحركها الهواء . وحتى الريح — حركة جسيمات الهواء الدقيقة التي لا ترى بالعين — تخضع بدورها لنفس القوانين المذكورة .

والفكرة المركزية لقوانين نيوتن للحركة ، تتلخص فيما يلي : « ان التغير الحاصل في حالة حركة الاجسام (اى في سرعتها) ، يعود الى الفعل المتبادل فيما بينها » .

ولكن اليس هذا الامر مفهوما بطبيعة الحال ؟ لا أبدا . لقد تمكن نيوتن بعد غاليليو ان يبدد اعمق الاضاليل التي تكونت لدى البشرية جمعاء حول قوانين حركة الاجسام . وقد كان الناس جميعا ، ابتداء من ارسطوطاليس وعلى مدى عشرين قرنا من الزمن تقريبا ، يعتقدون بان الحركة بسرعة ثابتة ، تحتاج لاجل استمرارها الى

٢*

تأثير خارجي او سبب فعال معين . وبدون هذه العوامل المساعدة ، يتوقف الجسم عن الحركة حتما .

ويبدو أن هذا الامر ، يجد تأكيدا له في حياتنا اليومية العادية . فعلى سبيل المثال ، عندما نطفيء محرك السيارة ، نجدها تتوقف عن الحركة حتى على الطريق الافقي المستوي تماما . وعند تساوي بقية الظروف الاخرى ، تزداد سرعة السيارة كلما زادت قدرة المحرك . ويمكن ان نقول نفس الشيء عن القارب ، الدراجة الهوائية ، الباخرة وغير ذلك . وهذا هو السبب الذي جعل بعض الناس حتى في عصرنا هذا ، ينظر الى الحركة من نفس الزاوية التي نظر اليها ارسطوطاليس ، وذلك دون ان يحسب لهذا الشيء حسابه .

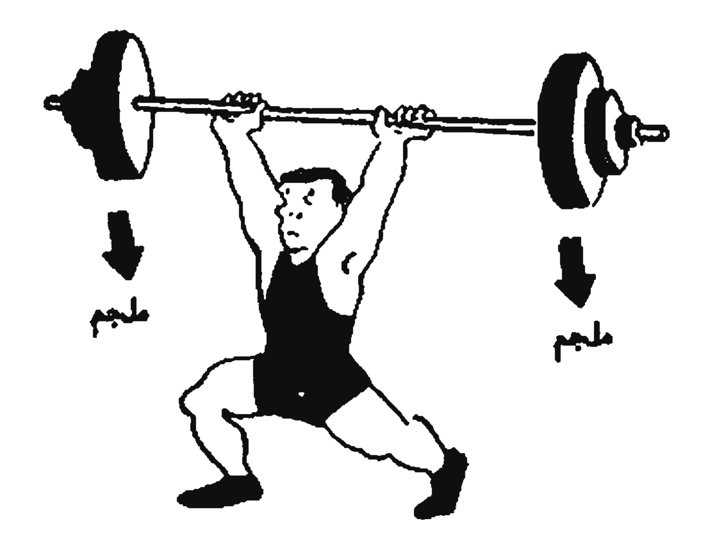
وفي الحقيقة نجد ان الجسم المنعزل ، اي الجسم الذي لا يتبادل الفعل مع اي جسم آخر ، يتحرك دائما بسرعة ثابتة . وغالبا ما يقال ان الجسم يتحرك بالقصور الذاتي . والتأثير الخارجي من جسم آخر فقط ، هو الذي يستطيع ان يغير سرعة الجسم المتحرك . ان استخدام قوة معينة للمحافظة على سرعة الجسم الثابتة ، ضروري لسبب واحد هو انه في الظروف العادية ، توجد دائما مقاومة للحركة من قبل الارض ، الهواء او الماء. اي يوجد احتكاك كما يقال عادة . ولولا وجود الاحتكاك ، لما انخفضت سرعة السيارة عند اطفاء المحرك .

ولم يستطع ان يدرك ذلك بتاتا على سبيل المثال ، الضابط الغبي الثرثار كراوس فون تسيليرجوت ، الذي سرق منه الجندي الشجاع شفايك كلبه الجميل . وقد قال ذلك الضابط ذات مرة : « عندما انتهى البنزين تماما ، اضطرت السيارة الى التوقف . هذا

ما رأيته بعيني أمس . وبعد هذا كله ، لا يزال البعض يثرثر حول القصور الذاتي ايها السادة . السيارة لاتسير ، لاتتحرك من مكانها . لقد انتهى البنزين ، ثم ماذا ، اليس هذا من المضحك ؟ » .

ان الامر البارز في قوانين نيوتن للحركة ، هو صيغتها الكمية الدقيقة المضبوطة . وبالاضافة الى التحدث عن فعل متبادل معين بين الاجسام ، يمكننا ايضا قياس ذلك الفعل المتبادل . والمقياس الكمى للفعل المتبادل بين الاجسام ، يسمى في الميكانيكا بالقوة .

ما الذى يجمع بين قوة العضلات وقوة الجاذبية — ان التأثيرات التي يتعرض لها جسم معين ، قد تكون منوعة للغاية . ما الذى يجمع في الظاهر ، بين قوة جاذبية الشمس للارض ، والقوة التي بتغلبها على قوة الجاذبية ، تجعل الصاروخ ينطلق في الفضاء ؟ او الشيء الذى يجمع بين هاتين القوتين وقوة العضلات ؟ ان هذة القوى مختلفة تماما من حيث طبيعتها . وتكمن وراء هذه القوى ظواهر مختلفة . هل يمكن التحدث عن هذه القوى كما نتحدث عن اى شيء آخر يمت لها بصلة قرابة طبيعية ؟ نعم يمكننا ذلك ، كما تجيبنا ميكانيكا نيوتن . وهنا ، لا يوجد في الميكانيكا اى



شيء يزيد على الاستنتاج العام للتجربة العملية اليومية لكل فرد منا .

ان الانسان عندما يعجز عن رفع حمل ثقيل ، يقول : « ليست لي قوة كافية » . وفي هذه الحالة ، تجري في الحقيقة مقارنة بين قوتين مختلفتين تماما من حيث طبيعتهما ، هما قوة العضلات ، والقوة التي تجذب بها الارض ذلك الحمل . ولكن اذا استطاع احدنا ان يرفع حملا ثقيلا ويبقيه مرفوعا ، فلن يمنعه شيء من التأكيد على ان القوة العضلية ليديه ، تساوي قوة الجاذبية من حيث القيمة .

ويعتبر التأكيد الأخير في الحقيقة، بمثابة تحديد لمعادلة القوى في الميكانيكا . وكل قوتين بغض النظر عن طبيعتهما ، تعتبران متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه ، اذا كان تأثيرهما على جسم ما في نفس الوقت ، لا يؤدي الى تغيير سرعته . وبهذه النتيجة بالذات ، تتوفر لدينا امكانية مقارنة القوى ، اذا اخترت احدى هذه القوى حسب الرغبة بمثابة معيار لقياس بقية القوى .

بانيكوفسكي والقصور الذاتي – ليتنبه القارىء الى أن الامر الاساسي في تحديدنا للقوة ، هو علاقتها بالحركة . واذا كان الجسم غير متحرك ، عندئذ تتوازن القوى المؤثرة عليه مع بعضها البعض . اما اذا كانت القوى غير متوازنة ، ففي هذه الحالة وحدها فقط ، تتغير حالة حركة الجسم . ويكتسب الجسم تسارعا تتناسب قيمته تناسبا طرديا مع قيمة القوة استنادا الى قوانين نيوتن للحركة ، ولكنها لا تعتمد مطلقا على مصدر هذه القوة . والامثلة على ذلك كثيرة الى حد لا يحصى . ولنأخذ اعتباطا المثال التالي ، الذي اذا لم يكن يعتبر من افضل الامثلة التعليمية ، فهو ليس من الامثلة المملة جدا على أية حال : مشهد سرقة سنجة حديدية وزنها حوالي

٣٠ كيلوجراما ، في رواية « العجل الذهبي » لمؤلفيها السوفيتيين إ . إلف وى . بتروف . حيث جاء ما يلي : « حمل بانيكوفسكي حصته بكلتا يديه ، نافخا بطنه ولاهثا بفرح ... واحيانا لم يكن في استطاعته بتاتا أن ينعطف في سيره لأن السنجة بقصورها الذاتي استمرت في دفعه الى الأمام . عندئذ أمسك بالاجانوف بيده الفارغة بتلابيب بانيكوفسكي ووجه جسمه في الاتجاه المطلوب » .

ونجد في هذه الحالة ، ان التأثير الخارجي من قبل بالاجانوف ، زود جسم بانيكوفسكي بالتسارع اللازم لتغيير اتجاه السرعة عند الانعطاف عن خط سيره .

ويجب القول ان تغير سرعة الجسم ، لايعتمد على القوة فقط ، بل على الجسم نفسه ايضا . ولولا السنجة ، لاستطاعت رجلا بانيكوفسكي الضعيفتان ، تزويده بالتسارع اللازم ، وكان بامكانه عندئذ ان ينعطف بسهولة عن خط سيره .

ان خاصية الجسم التي تحدد سرعة تغير سرعته نتيجة لتأثير القوة تسمى في الميكانيكا بالكتلة (او كتلة القصور الذاتي) . واستنادا الى قانون نيوتن الثاني ، نجد ان تسارع الجسم (اى تغير سرعته في وحدة الزمن) يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة عليه ، وعكسيا مع كتلته .

وهكذا نجد ان القوة معرفة تعريفا دقيقا في الميكانيكا التقليدية . وهذا التعريف يشمل أيضا طريقة قياس القوى . وان تأثير القوى ، يرتبط بصورة كمية دقيقة مع التسارع . و الميكانيكا ، هى العلم الوحيد ، الذى يحدد فيه بدقة معنى كلمة القوة .

قيمة الشمولية وفي علم الميكانيكا أيضا ، لا يمكن أن ندعي بان الوضع بالنسبة للقوى ، هو وضع رائع . وتبقى الاجابة

على السؤال التالى غير واضحة : لماذا تظهر هذه القوى او تلك ، نتيجة لبعض العمليات الفيزيائية ؟

والظاهر ان نيوتن نفسه قد شعر بذلك . وينسب الى نيوتن قوله : « اننى لا اعرف بالذات كيف يبدو مظهرى للعالم ، ويبدو لى شخصيا باننى كنت صبيا فقط ، الهو على ساحل البحر وارفه عن نفسى بان اعثر بين فينة واخرى ، على حصاة اكثر ملاسة من غيرها ، او على محارة اجمل من المحارة العادية ، فى الوقت الذى كان فيه محيط الحقيقة العظيم يمتد امامى بسره الذى لم يفسر مطلقا » .

وفى علم الميكانيكا ، تعتبر الصعوبات المتعلقة بطبيعة القوى ، غير مهمة عادة ، نتيجة للامتناع عن الحديث عنها . ان مثل هذا المسلك متوقع الحدوث تماما . ولحساب مسارات حركة الاجسام مثلا ، يكفى ان نعرف القيمة الكمية للقوة . اما معرفة قيمة القوى وتحديد زمن وكيفية تأثيرها ، فنستطيع ذلك دون التعمق فى طبيعة القوى ، بل باستخدام طرق قياسها فقط . ولهذا السبب بالذات ، فى علم الميكانيكا ، كما يقول العالم أنرى بوانكاريه « ليس من الضرورى عند القيام بتحديد القوة ، ان نعرف طبيعة تلك القوة أو فيما اذا كانت سببا للحركة او نتيجة لها » .

والظرف الذى يجعل طبيعة القوى غير مهمة بالنسبة لعلم الميكانيكا ، يمثل نقصا فى ذلك العلم ، ولكنه فى نفس الوقت يعتبر من محاسنه . ولهذا السبب بالذات ، نجد ان الميكانيكا تفسر لنا بنجاح ، حركة الجزيئات وحركة النجوم على حد سواء .

وهذا شىء رائع ، ولكن تبقى هناك مع ذلك « بقعة سوداء » . ولهذا السبب ليس من المدهش انه عندما شعر العلماء بعدم وجود وضوح تام فى مفهوم القوة ، حاولوا طوال الوقت التغلب على مثل

هذه الصعوبات . وقد فعل البعض ذلك بالانتقال من التعريف الشكلى نوعاما للقوى الى محاولات تحليل طبيعة الافعال المتبادلة بشكل أعمق ؟ بينما قام البعض الآخر ، مثل العالم الفيزيائى الالمانى البارز ج . هيرتز ، باستثناء مفهوم القوة من علم الميكانيكا .

الميكانيكا بدون القوى والقوى بدون الميكانيكا – لقد استطاع العالم ج . هيرتز ان يبنى الميكانيكا بدون استخدام مفهوم القوة بتاتا ، ولكن اتضح بعد ذلك حسب الرأى المعروف ، أن « المسألة لاتستحق العناية » . فان استثناء القوة من الميكانيكا ، ادى من ناحية الى ضرورة ادخال فرضيات علمية جديدة ، ومن ناحية اخرى عقد الى درجة كبيرة صياغة القوانين الاساسية للميكانيكا ، بحيث رفض العلماء الاعتراف بخطة هيرتز برمتها .

ومن الطريف ان نشير هنا ، الى ان الوضوح غير التام فى مفهوم طبيعة القوى ، الذى أوجد محاولات استثناء القوة من العلم ، ادى فى نفس الوقت الى حدوث تأثير معاكس تماما . لقد بدأ مصطلح « القوة » بالانتقال من علم الميكانيكا الى فروع علمية اخرى ، فاقدا فى طريقه تلك الدرجة من الدقة ، التى تمكن من اكتسابها ضمن علم الميكانيكا . وقد كتب فردريك انجلز حول هذا الموضوع ما يلى : « ... اذا اطلق على هذا السبب أو غيره من اسباب الحركة ، اسم القوة ، فهذا لا يسىء باى شىء الى علم الميكانيكا مأخوذا بذاته ؛ ولكن بفضل ذلك سيتعود الناس على نقل هذا الاسم الى فروع العلم الاخرى مثل الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا وعندئذ سيحدث الارتباك حتما » ... .

وبالاكتفاء بمعرفة نوع القوة فقط ، لتحديد خصائص العمليات الجارية ، عبر علماء الفيزياء بذلك عن جهلهم لحقيقة تلك

العمليات . وقد تم اقرار عدد كبير من القوى ، يساوى عدد اساليب تبادل الفعل المعروفة بين الاجسام . ولم يهتم الا القليل من العلماء بالعلاقة التى تربط بينها» . ومنذ ذلك الوقت الذى كتبت فيه هذه السطور ، انقضت سنوات كثيرة جدا . وقد تمكن الفيزيائيون فى الوقت الحاضر ، من التخلص بصورة رئيسية من امثال تلك الميول والنزعات . ولكن لا تزال المصطلحات العلمية حتى يومنا هذا ، تبعث أصداء تلك الفترة الزمنية الماضية ، التى تحدث عنها انجلز . ولنتذكر على سبيل المثال ، القوة الدافعة الكهربائية (التى هى فى الحقيقة ليست قوة ، بل شغل) ، القوة الحركية (الطاقة الحركية) قوة الضوء، قوة التيار : ان اى مفهوم من هذه المفاهيم ، لا يمت باية صلة كانت الى القوة بمعناها الميكانيكى العادى .

٣ – هل يمكن دائما بيان خواص الفعل المتبادل بواسطة القوى ؟

حب روبرت مايير للانسانية – لقد تحدثنا سابقا عن المحاولات الفاشلة لأستثناء وطرد القوة من علم الميكانيكا . ولكن بالرغم من المحافظة على القوة فى الميكانيكا التقليدية ، الا ان تطور الفيزياء قد اثبت مع ذلك ، انه لا يمكن الى درجة بعيدة ، ان نبين خواص كل فعل متبادل بواسطة القوى .

وكان من الصعب ان نفترض فى بداية الامر ، ان القوة مهددة بخطر ما . واستمرت الميكانيكا التى اوجدها نيوتن ، فى تطورها . وبالاضافة الى القوة ، ادخل عدد آخر من المفاهيم ، مثل كمية

الحركة ، الطاقة وغير ذلك . واخذت الطاقة* بالتدريج تكتسب اهمية اكثر فاكثر . واستطاعت الطاقة ، كما فعلت القوة قبلها ، أن تبين الخواص الكمية للفعل المتبادل بين الاجسام ، زد على ذلك أنها تبين خواص حالتها الحركية .

وفي علم الميكانيكا ، تحدد الطاقة بسرعات الاجسام ، وكذلك بطبيعة الفعل المتبادل بين هذه الاجسام مع بعضها البعض (والامر الاخير مهم جدا بالنسبة لنا) . وبالاضافة الى ذلك ظهر أنه في الامكان اعادة صياغة كافة قوانين الميكانيكا الاساسية لنيوتن ، بلغة الطاقة . ان وصف الحركة بانها قوة او وصفها بانها طاقة ، هما وصفان متماثلان تماما : ان شغل القوة يساوى التغير في الطاقة . اما طاقة مجموعة من الاجسام ، فيمكن اعتبارها بمثابة احتياطي لذلك الشغل الذي يمكن ان تنجزه تلك المجموعة من الاجسام . وكمية الطاقة الميكانيكية لمجموعة الاجسام المنعزلة ، لا تبقى ثابتة بصورة عامة ، لأنها تتناقص بوجود الاحتكاك . وقد تغير الوضع بصورة جذرية عندما تمت الصياغة الدقيقة للقانون الاساسي للعلوم الطبيعية الحديثة ، في منتصف القرن التاسع عشر ، وهو قانون حفظ الطاقة .

وقد تحدث احد واضعي هذا القانون ، وهو العالم روبرت ماير عن أهميته قائلا : «للتوصل الى منفذ لمفهوم الحركة في العلم ، ليس من الضروري الآن ان نرتقي في البداية الى المستوى العالي للرياضيات ، بل على العكس من ذلك ، ان الطبيعة نفسها تظهر

---

* تجدر الاشارة هنا الى ان كلمة «الطاقة» بالذات ، لم تستخدم في بداية الامر .

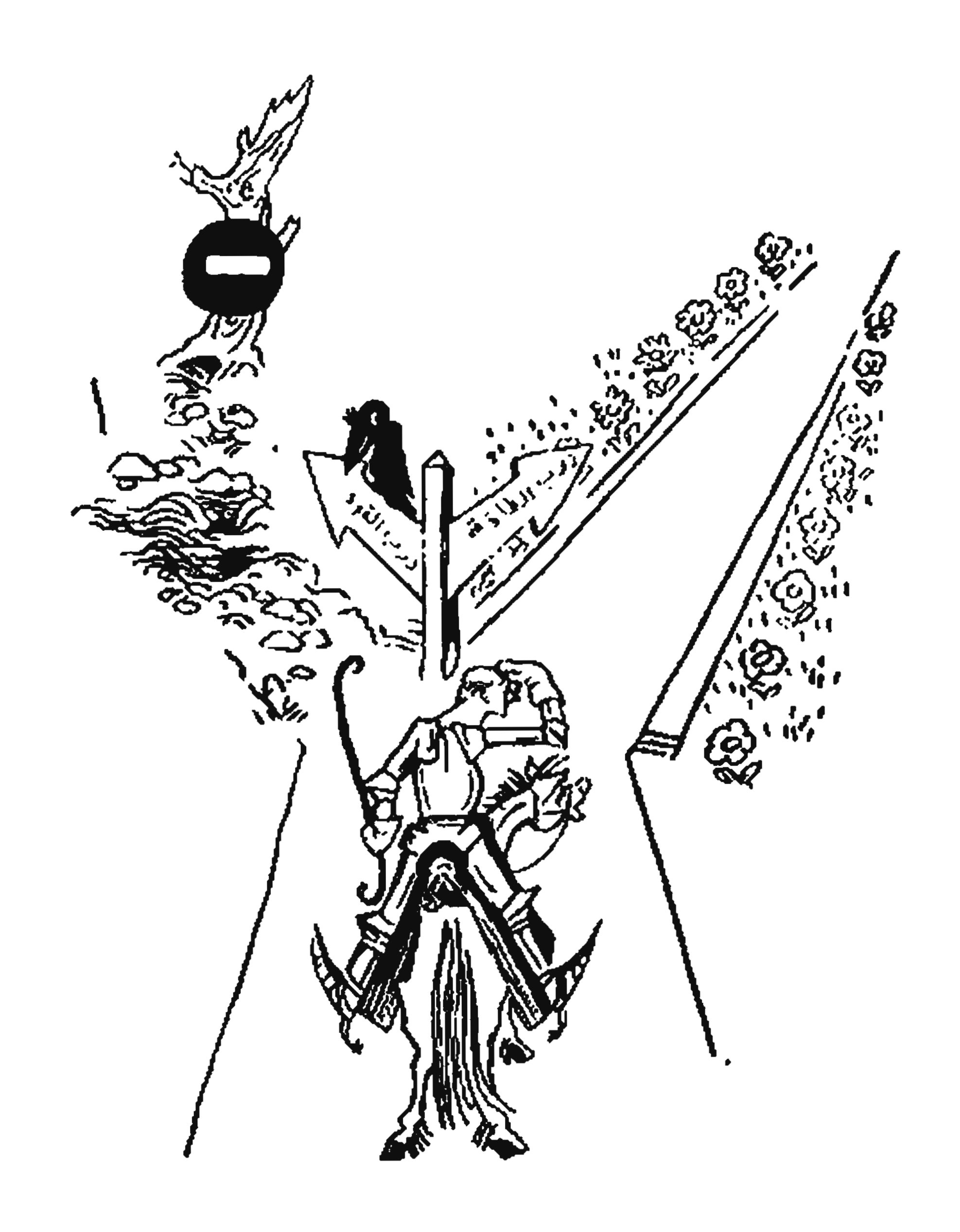
** هذا بغض النظر عن القوى المعتمدة على السرعة ، مثل الاحتكاك .

بجمالها العادى ، امام النظر المبهوت ، حتى ان الانسان القليل المواهب ، يستطيع رؤية كثير من الاشياء التى بقيت لحد الآن مخفية عن اعظم العلماء » .

ويؤكد قانون حفظ الطاقة ، على ان الطاقة التى تعاملنا معها فى الميكانيكا ، لا يمكن ان تفنى فى اية حال من الاحوال . بل يمكن ان تتحول فقط من شكل الى آخر . وعند فناء الطاقة فى الصيغة الميكانيكية ، تظهر كمية مساوية لها تماما ، من الطاقة المختلفة النوع . وقد يتم على سبيل المثال ، تسخين الاجسام . لغة الميكانيكا — الظاهر ان الطاقة قد اصبحت الخاصية الكمية العامة للحركة والفعل المتبادل لكافة الاجسام ابتداء من الاجسام الفضائية وانتهاء بالجسيمات الذرية . ان قانون حفظ وتحول الطاقة ، لا ينحصر فى الحركة الميكانيكية وحدها ، ولذلك ليس من المدهش اذا اصبح وصف الافعال المتبادلة بواسطة الطاقة . اكثر شمولا من وصفها بواسطة القوة . وفى اطار ميكانيكا نيوتن فقط ، لا يمكن ان نفضل احد الوصفين على الآخر دون قيد او شرط .

ويمكن مقارنة تحول الطاقة من شكل الى آخر ، بترجمة الكلمات العادية الى لغات مختلفة . ان الترجمة تغير « الشكل الخارجى » الكلمة ، رسم حروفها وطريقة لفظها ، ولكن مع ذلك يبقى معناها دالا على نفس الشيء بالذات ، مثل كلمة « البيضة » — (بالعربية) ؛ «The egg» — (بالانجليزية) ؛ «das Ei» — (بالالمانية) ؛ «l'oeuf» — (بالفرنسية) وغير ذلك .

ولو تمسكنا بهذه المقارنة ، لتحولت القوى على الارجح الى صيغ وعبارات اصطلاحية ، لا تكمن معانيها التامة واعماقها الا



في اللغة الام (وهذه اللغة هنا هي لغة الميكانيكا) ولكنها تصبح بلا معنى عند ترجمتها الحرفية .

وقد تبدو الحقيقة التالية مضحكة الآن ، وهي انه في البداية ، قبل ان يصادق العلماء على مصطلح « الطاقة » استخدمت كلمة « القوة » مرة اخرى للدلالة على القيمة الفيزيائية الجديدة . ان البحث

العلمي للاستاذ هلمهولتز ، الذى يرتبط باسمه (الى جانب الاستاذين ماير وجول) اكتشاف قانون حفظ الطاقة ، كان يحمل عنوان « حول حفظ القوة » . وقد كتب ماير بهذا الخصوص ما يلي : « لو سمحنا مرة باستخدام كلمة القوة بمعناها المزدوج ، فسوف نجد بعد ذلك انه من الصعب جدا ان نحاول التفريق بين المعنيين في كافة الحالات الخاصة » . وقد كان ماير يصر طوال حياته تقريبا ، على ان تبقى كلمة القوة ، تستخدم فقط للتعبير عما نسميه نحن الآن بالطاقة . ومن السهل على القارىء ان يتصور مدى الخلط الذى يمكن ان يحصل فى هذه الحالة .

ونتيجة للشمولية الواسعة لمفهوم الطاقة ، كان لا بد للوصف المبني على الطاقة ان يحل تدريجيا بمرور الزمن ، محل الوصف المبنى على القوة .

عندما تعلن قوانين نيوتن الاضراب — ان مفهوم القوة له معنى كمي دقيق فى الميكانيكا فقط ، اما مفهوم الطاقة فيشمل العمليات ذات الطبيعة المختلفة مهما كانت : هناك طاقة حرارية ، طاقة مغنطيسية كهربائية ، طاقة نووية والى آخره . والوصف الذى أعطاه نيوتن للحركة ، ينطبق على الحالات ، التي تؤدى فيها قوى بسيطة نسبيا ، الى انواع من الحركة ، وقد تكون هذه الانواع من الحركة معقدة بما فيه الكفاية . وعلى سبيل المثال ، نجد ان قوى الجاذبية العامة ، التي يعبر عنها بصيغ بسيطة للغاية ، تؤدى الى مسارات معقدة جدا للكواكب ، اذا اخذنا فى الاعتبار ليس انجذاب الكواكب نحو الشمس فحسب ، بل وكذلك التأثيرات المتبادلة بين بعضها البعض ، ولنتصور الآن اننا ننتقل من وصف حركة عدد قليل من الاجسام ، الى بحث مئات ، آلاف ، ملايين

الجسيمات وغير ذلك . ويمكننا بطبيعة الحال ان نهدىء انفسنا بالوهم ونقوم : ان ميكانيكا نيوتن قادرة «من حيث المبدأ» على الوصف الدقيق لمثل هذه المجموعات من الجسيمات ايضا ، اى قادرة على تحديد موضع وسرعة اى جسيم منها فى اية لحظة زمنية . ولكن في الحقيقة ، نجد ان طريقة الحل الميكانيكية هنا ، تفقد معناها بصورة عامة . ان الصيغة الدقيقة بالذات لهذه المسألة (تحديد الاوضاع الأولية وسرعات الجسيمات ، وكذلك معرفة قوى الفعل المتبادل فيما بينها) ليست اسهل من حلها . وبالفعل ، نجد ان الكشف عن سلوك مجموعة متكاملة مؤلفة من عدد كبير من الجسيمات ، يتم بواسطة قوانين جديدة النوع ، لا تمت بصلة الى الميكانيكا — هى قوانين الفيزياء الاحصائية .

مجموع القوى فى قدح من الماء — يمتنع العاملون فى مجال الفيزياء الاحصائية منذ البداية ، عن محاولات تتبع ورصد حركة الجسيمات المنفردة ، ويبحثون مباشرة السلوك المتوسط لمجموعة متكاملة كبيرة من تلك الجسيمات . وبما ان الطاقة لا تفنى ، نستطيع بكل حق ان نتحدث عن الطاقة المتوسطة (معدل الطاقة) لدى جسيمات هذه المجموعة . ولكن معدل قوة الفعل المتبادل للجسيمات مع بعضها البعض ، لا يبقى ثابتا ويفقد هذا المفهوم معناه بالنسبة للمجموعة الكبيرة المتكاملة من الجسيمات .

ان قوى الفعل المتبادل بين الازواج المنفردة لجسيمات المجموعة ، متساوية فى المقدار ومتعاكسة فى الاتجاه . ولذلك ، يكون المجموع الكلى للقوى المؤثرة فى داخل المجموعة ، مساويا للصفر بصورة عامة . ويمكن التحدث فقط عن تلك القوة المتوسطة

التى تؤثر بها المجموعة ككل (مثل الغاز فى الاسطوانة) على جسم خارجي معين (مثلا على المكبس الذى يحبس الغاز) .

ونشير هنا الى حالة اخرى ، وهى ان تغير حالة المادة تحت تأثير القوى الخارجية ، يرتبط دائما بتغير طاقتها . ولكن هذا التغير لايساوى شغل القوى ، كما فى الميكانيكا . ان ابريق الشاى الموضوع على النار يغلى بهدوء بالرغم من عدم ظهور قوى وعدم حدوث شغل ميكانيكى .

حول احدى المناقشات العظيمة - قبل ان تظهر فى العلم الافكار المتعلقة بالحركة الجزيئية ووصفها الاحصائى ، بمدة طويلة من الزمن ، ظهر فى حقول الميكانيكا بالذات ، هذا السؤال الذى يبدو لاول وهلة غير مهم جدا ، وهو : هل يتم الفعل المتبادل بين الاجسام بصورة سريعة جدا ، ام انه يستغرق مدة معينة من الزمن ؟

وفى فصول الكتاب الخاصة بقوى الجاذبية والقوى المغنطيسية الكهربائية ، سوف نتحدث بالتفصيل عن مناقشة أنصار المدى البعيد ، اى التأثير السريع جدا عن طريق الفراغ الخالى مباشرة بدون وجود اى وسطاء مطلقا ، ومناقشة المدافعين عن فكرة المدى القصير المعارضة تماما للفكرة الاولى . ان البراهين التى احدثت تحولا فى هذه المناقشة ، ظهرت فى نفس الوقت مع ظهور نظرية الظواهر المغنطيسية الكهربائية . وقد كانت هذه البراهين الى جانب المدافعين عن فكرة المدى القصير . وظهر هنا بكل وضوح لاول مرة ، ان الاشارة الخاصة بكل شحنة او تيار ، لا تنطلق عبر مختلف المسافات بصورة سريعة جدا ، اى فى نفس اللحظة ، الامر الذى لا يحدث انتقال الفعل المتبادل الا خلال فترة معينة

من الزمن . وبعبارة اخرى ، يمكن القول ان اية « اشارة » يمكن ان تنتقل بسرعة كبيرة للغاية ، الا ان هذه السرعة لا يمكن ان تعتبر لانهائية . وحالما اثبتت هذه الحقيقة ، برز السؤال التالى فى الحال : هل يتفق ذلك مع ميكانيكا نيوتن ؟ لانه فى علم الميكانيكا ، تعتبر تأثيرات الاجسام على بعضها البعض ، تاثيرات متبادلة فى كافة الاحوال . ان القوة التى يضغط بها الكتاب على سطح المنضدة مثلا ، تساوى من حيث المقدار القوة التى يؤثر بها سطح المنضدة على الكتاب ، وتعاكسها فى الاتجاه . واستنادا الى قانون نيوتن الثالث ، يكون الفعل مساويا لرد الفعل دائما .

واذا حركنا بسرعة احدى الشحنتين المتبادلتى الفعل ، فان الشحنة الاخرى سوف لاتشعر بذلك مدة معينة من الزمن . وسوف تؤثر على هذه الشحنة القوة السابقة ، فى الوقت الذى ما ان تتحرك فيه الشحنة الاولى من مكانها ، حتى تصبح واقعة تحت تأثير القوى المتغيرة مباشرة . وهنا يصبح الفعل غير مساو لرد الفعل .

وهذا الامر ليس تافها ، وليس ثانويا طارئا كما سنرى فيما بعد . ويتلخص الامر كله . فى ان الوسيط المتدخل اثناء الفعل المتبادل بين الشحنتين — وهو المجال المغنطيسى الكهربائى لا يعتبر نظاما ميكانيكيا ، اى لا يوجد له تفسير فى ميكانيكا نيوتن . ولا يمكن التحدث عن المجال المغنطيسى الكهربائى كما نتحدث عن مجموعة من النقاط المادية ، التى تتحرك تبعا لقوانين نيوتن الميكانيكية . ان لغة الميكانيكا وكل ما فى جعبتها من الطرائق المختلفة ، لا تفيد هنا فى وصف هذا الشىء .

ولو استطعنا التكلم ايضا عن تأثير القوى على الجسيم من ناحية المجال المغنطيسى الكهربائى . فاننا لانستطيع التكلم هنا

عن القوة المؤثرة على المجال من ناحية الجسيم . وهذا الامر مهم جدا ! واذا كان الوصف الميكانيكي قد اصبح بلا معنى ، يجب البحث عن مقاييس اخرى للفعل المتبادل فى هذه الحالة . وسوف لا يطول البحث عن هذه المقاييس . ان باستطاعة الطاقة القيام بهذا الدور على اروع شكل .

ان وضع الاشياء فى نظرية الظواهر المغنطيسية الكهربائية ، هو ليس استثنائيا مطلقا . ووجهة نظر المدى القصير التى اصبحت الآن مسيطرة تماما ، اى فكرة الفعل المتبادل بواسطة هذه المجالات او تلك ، تضع قيودا على استخدام القوى كوسيلة او اداة لوصف الافعال المتبادلة .

لا يمكن وضع زنبرك فى داخل الذرة — بالرغم من كافة الصعوبات المتعلقة باستخدام المجالات ، لاتزال ميكانيكا نيوتن ناجحة فى عملها تماما ، وعلى سبيل المثال ، فى وصف حركة الاجسام المشحونة فى المجالات المغنطيسية الكهربائية المعينة . (ان المجالات المغنطيسية الكهربائية لا تخضع بطبيعة الحال لقوانين الميكانيكا ، التى يشمل مفعولها حركة الاجسام بالذات فقط) . ولكن حتى هذه الصلاحية النصفية للميكانيكا ، لا تظهر الا فى بعض الاحيان وليس دائما .

وفى عالم الجسيمات الذرية ، لا يمكن بواسطة القوى ان نصف الفعل المتبادل ، ليس للمجموعات الكبيرة من الجسيمات فحسب ، بل للافراد القائمين بذاتهم فى عالمنا هذا .

والميكانيكا تعتبر ان الجسم يتحرك طبقا لمسار معين ، وله بسرعة معينة فى كل نقطة من نقاط المسار . وتتغير هذه السرعة من نقطة الى اخرى بتأثير القوة الخارجية . اما فى حالة حركة الجسيمات

الذرية ، فلا توجد اية اهمية معينة للسرعة في نقطة من النقاط .
ان الجسيم الذري ، مثل الالكترون ، لا يمكن ان يعتبر ببساطة مثل الكرية الصغيرة ذات الحجم الصغير جدا . ولاشك في ان الالكترون يتحرك في الفراغ بمرور الزمن ، ولكن لا يمكن تصور هذه الحركة بوضوح مثل تصور الحركة على امتداد خط معين — مسار . اما قياس القوة مباشرة بواسطة ميزان زنبركي يوضع في داخل الجسيم الذرى ، فهو امر مستحيل . ولا يمكن ايضا وضع زنبرك في داخل الذرة لقياس قوة الفعل المتبادل بين الالكترون والنواة .

ان الميكانيكا التقليدية برمتها ومعها مفهوم القوة بالذات ، لم تستخدم بصورة عامة بالنسبة للجسيمات الذرية . ومن المستحيل ان نبين بدقة طبيعة الفعل المتبادل للجسيمات الذرية في الذرات والنويات الذرية بواسطة القوى . ويصبح الوصف بواسطة الطاقة هنا ، هو الطريقة الوحيدة الممكنة في هذا المجال . ان الطاقة مفهوم شامل جدا ، الى الحد الذى جعل قانون حفظ الطاقة يشمل حتى الجسيمات الذرية ، لكنه يكتسب في هذه الحالة في الحقيقة ، شكلا اكثر تعقيدا .

القوة بمعنى الفعل المتبادل — وبالرغم من ذلك لا زالت كلمة القوى تذكر في الفيزياء الذرية . ولعل الجميع قد سمع بالقوى النووية المؤثرة في نواة الذرة ، وعن القوى الالكترونية للفعل المتبادل بين الالكترونات وغير ذلك . اننا نتعامل في هذه الحالات مع معنى جديد ، ويجب ان نأمل في ان يكون هو المعنى الاخير لكلمة القوة العجيبة هذه . ولكن هذه القوى هنا ، هي ليست تلك القوى التي نتعامل معها في الميكانيكا . ان مصطلح « القوة » يصبح هنا مرادفا لمفهوم « الفعل المتبادل » . وهذا هو عبارة عن قيمة كمية غير محددة بدقة ، بحيث لا يمكن قياسها او وضعها في

معادلة تبين وصف العمليات الحقيقية الجارية . وهو مجرد تحديد نوعي لنمط الفعل المتبادل ودلالة على طبيعته .

وهكذا نجد ان كلمة « القوة » في العلم المعاصر ، تستخدم بالمفهومين التاليين : اولا ، بمعنى قوة ميكانيكية ، وهنا تعتبر بمثابة مقياس كمي دقيق للفعل المتبادل ؛ ثانيا ، وفي احيان اغلب بكثير ، تعني مجرد وجود فعل متبادل من نوع معين ، تعتبر الطاقة وحدها فقط ، بمثابة مقياس كمي دقيق له . وعندما نتحدث عن القوى النووية على سبيل المثال ، فاننا نقصد بالذات المعنى الثاني لهذه الكلمة . ومن المستحيل من الناحية المبدئية ، ادخال القوى النووية في اطار ميكانيكا نيوتن .

وكان بامكاننا بطبيعة الحال ان نستغني عن استخدام كلمة القوة بمعناها الجديد هذا . ولكن هذا من ناحية معينة ، يعتبر خطوة الى الوراء . ولكن في الظاهر ، اصبحت العادة على استخدام هذه الكلمة ، قوية الى حد كبير ، كما انها توطدت بثبات في لغتنا ، بحيث يتوقع لها ان تبقى كذلك في المستقبل ايضا .

ان الكلمات تعيش حياتها الخاصة ليس في اللغة الشائعة الاستخدام فحسب ، بل وفي اللغة العلمية ايضا ، ولا يمكن التخلص منها لا بواسطة البراهين « المعقولة » ضدها ، ولا بالطرق التشريعية .

٤ ـ وحدة القوى في الطبيعة

كم عدد القوى في الطبيعة ! ـ لقد قررنا ان نعنون هذا الكتاب بـ « القوى في الطبيعة » آخذين في الاعتبار بالدرجة الاساسية المعنى الثاني لكلمة القوة في العلم المعاصر . ولكن في عدد كبير من الحالات ، يمكن ان نفهم القوى التي سيدور عنها الحديث فيما بعد ، في « معناها الميكانيكي » الاضيق مجالا .

ان حديثنا سيتناول بالدرجة الاولى طبيعة القوى ، اى المسألة التى تمتنع الميكانيكا عن بحثها . وهنا تعترضنا فى الحال مشكلة من الدرجة الاولى في الاهمية ، وهي : ما هو عدد الانواع المختلفة من القوى ، اى انواع الافعال المتبادلة ، الموجودة فى الكون ؟

وفى الوقت الحاضر عند الحديث عن وحدة الطبيعة ، يقصد بذلك عادة وحدة تركيب المادة : ان كافة الاجسام مركبة من انواع معدودة فقط من الجسيمات الذرية . ولكن هذه الحقيقة تظهر لنا جانبا واحدا فقط من وحدة الطبيعة . ولكن هناك شيء آخر لا يقل اهمية عن ذلك .

وبغض النظر عن التنوع المدهش للافعال المتبادلة للاجسام مع بعضها البعض ، المؤدية فى نهاية المطاف الى تبادل الفعل بين الجسيمات الذرية ، تشير المعطيات العلمية الحديثة الى وجود أربعة انواع من الافعال المتبادلة في الطبيعة ، وهي : الجاذبية العامة ، الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية ، النووية والضعيفة* . ومن هذه الانواع يمكن بحث النوعين الأولين فقط ، حسب مفهوم ميكانيكا نيوتن . وتظهر لنا بوضوح كافة الانواع الاربعة للقوى ، عند بحث ما يجرى في رحاب الكون اللانهائية وعلى كوكبنا الارضي ، وعند بحث اية قطعة من المادة ، الكائنات الحية ، الذرات ، نويات الذرات والتحولات المتبادلة للجسيمات الذرية .

اننا نعرف الكثير عن الافعال المتبادلة التجاذبية ، المغنطيسية الكهربائية ، النووية والضعيفة .

---

* اننا لا نتطرق هنا الى ما يسمى بالافعال المتبادلة غير القسرية ، التى يعبر عنها بمبدأ باولى في ميكانيكا الكم (Quantum mechanics) .

ولكن ما هو المقصود من القوى التابعة للانواع الاربعة المذكورة ؟ لماذا وكيف يمكننا الاعتماد عليها في تفسير عدد هائل من الظواهر الطبيعية ؟

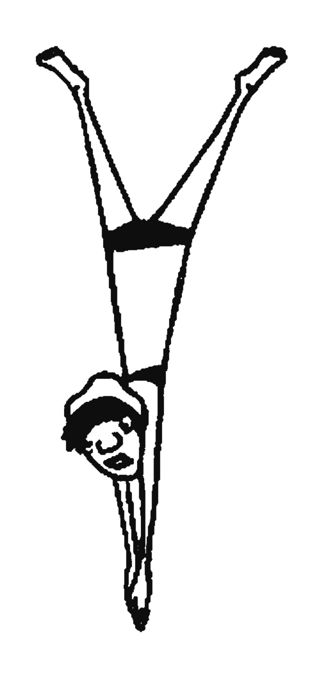
ان الاجابة على هذه الاسئلة ، هي محتوى هذا الكتاب . ووحدة قوى الطبيعة ، مرتبطة ارتباطا وثيقا بوحدة تركيب المادة . ولا معنى لاحداهما بدون الاخرى ، ولكن يمكن بالأحرى القول ان كلتيهما تعبران عن نواح مختلفة لوحدة العالم او الكون ، العميقة التوغل في طبيعة المواد . وهناك أيضا عدد اقل من انواع الافعال المتبادلة بين الجسيمات الذرية ، يناظر عددا قليلا نسبيا من انواع تلك الجسيمات . وهذا العدد بالاضافة الى ذلك . يمكن ان يقل الى حد أبعد ، حسب رأى العلماء النظريين .

ما الذى سيحويه الكتاب ـ سوف نتحدث الآن عن الشيء الاساسي والأهم . ما الذى تمثله الانواع المذكورة من الافعال المتبادلة ، وكيف تم اكتشافها ؟ وكيف يمكن تفسير العدد اللانهائى من اشكال الافعال المتبادلة للاجسام مع بعضها البعض ، بواسطة عدد قليل من القوانين العامة ؟ وما هو مجال تأثير القوى المختلفة فى الطبيعة وما هو دورها فى مختلف العمليات ؟ واخيرا يجب التحدث عن العلاقة المتبادلة بين القوى ، وعن ذلك الانسجام فى قوى الطبيعة ، الذى يؤمن الاستقرار النسبى ، وكذلك التطور والتجدد المستمرين للكون ، حيث تصبح كافة القوى ضرورية الى درجة متساوية . وسوف نبدأ بالتحدث عن الشيء الذى ابتدأت منه دراسة طبيعة القوى فى علم الفيزياء . وسنبدأ بالتحدث عن قوى الجاذبية العامة . ان قوى الجاذبية تقف على رأس تلك الحلقة من الاكتشافات الرائعة ، التى ادت الى اقرار حقيقة وحدة القوى فى الطبيعة .

الفصل الثانى

قوى الجاذبية

كانت النجوم تسبح فى الفضاء
قبل أن نخلقا ...
وتادت الأسحار عالمنا أن ينهضا
قبل أن نخلقا ...
« رباعيات عمر الخيام



١ – من أناكساغور الى نيوس

السقوط اللانهائي – يوجد في كتاب «الأسس الرياضية للفلسفة الطبيعية» الذي الفه العالم العظيم نيوتن ، شكل يحمل الرقم ٢١٣ ، يمتاز بأنه على الرغم من بساطته الواضحة ، يجعلنا نفهم العلاقة الوطيدة بين الميكانيكا «الارضية» والميكانيكا «الفلكية» . وتوجد تحت الشكل المذكور العبارات التالية : «ان الحجر المرمي ينحرف بتأثير الجاذبية عن طريقه المستقيم ، ويتخذ مسارا منحنيا ثم يسقط اخيرا على الارض . واذا رمي بسرعة كبيرة ، فسوف يسقط متوغلا الى ابعد من ذلك» . وبالاستمرار في هذه المناقشة ، يتوصل نيوتن الى نتيجة مفادها انه لولا مقاومة الهواء ، وعند الوصول الى سرعة كافية ، يتغير شكل المسار بحيث يمكن ان لا يصل الحجر الى سطح الارض بصورة عامة ، بل يبدأ بالدوران حول الارض ، «مثلما تدور الكواكب على مداراتها في الفضاء الكوني» . ولا يجوز عدم ذكر هذه العبارات المقتبسة ، خاصة في الوقت الحاضر ، بعد العدد الكبير من عمليات اطلاق الاقمار الصناعية والسفن الفضائية .

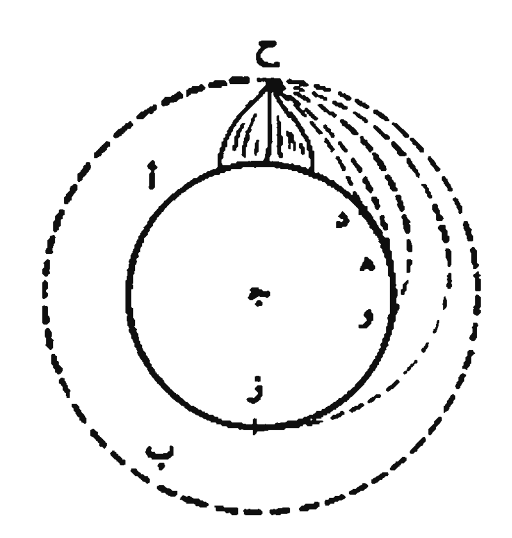
وهكذا نجد ان حركة الكواكب ، مثل حركة القمر حول الارض او حركة الارض حول الشمس ، هي عبارة عن سقوط ايضا ولكنه سقوط مستمر الى ما لانهاية * . وسبب هذا السقوط هو قوة الجاذبية ، بغض النظر عما اذا كان الحديث يدور حول سقوط الحجر على الارض في الواقع ، ام حول حركة الكواكب على مداراتها .

---

* على اية حال يصح ذلك لو تركنا جانبا تحول الطاقة الى شكل «غير ميكانيكي».

ان الحدس المتعلق بوحدة الاسباب المتحكمة في حركة الكواكب وسقوط الاجسام الارضية ، قد ظهر على لسان العلماء قبل نيوتن بمدة طويلة من الزمن . وكان اول من افصح عن هذا الرأي حسب ما يظهر ، هو الفيلسوف اليوناني أناكساغور ، المنحدر أصلا من آسيا الصغرى ، والذي عاش في أثينا قبل الفي عام تقريبا . وقد قال ان القمر لو لا حركته هذه ، لسقط على الارض مثل سقوط الحجر من المقلاع . وهذا قول جيد ، اليس كذلك ، خاصة اذا اخذنا في الاعتبار انه قد قيل قبل عصر نيوتن بما يزيد على عشرين قرنا من الزمن .

ولكن ذلك الحدس العبقري لأناكساغور ، لم يكن له في الظاهر اي تأثير عملي في تطور العلم . وقد كان مصيره ان اصبح غير مفهوم من قبل المعاصرين له ، ومنسيا من قبل الاجيال اللاحقة . وقد كان المفكرون في العصور القديمة والقرون الوسطى ، الذين جلبت انتباههم حركة الكواكب ، بعيدين جدا عن التفسير الصحيح لاسباب هذه الحركة (وعلى الاغلب بعيدين عن اي تفسير



كان) . حتى ان العالم العظيم كيبلير ، الذى استطاع بجهده الخارق صياغة القوانين الرياضية الدقيقة لحركة الكواكب ، كان يعتقد ان سبب هذه الحركة يتلخص فى دوران الشمس .

واستنادا الى تصورات كيبلير ، ان الشمس عند دورانها ، تصدر عنها دفعات مستمرة ، تجعل الكواكب تدور . وفي الحقيقة بقي الامر الغامض هنا ، هو لماذا يختلف زمن دوران الكواكب حول الشمس عن الفترة الزمنية لدوران الشمس حول محورها . كتب كيبلير حول ذلك يقول : «... لو لم تكن للكواكب مقاومة طبيعية ، لما تمكنا من بيان الاسباب التى منعتها من تعقب دوران الشمس بدقة تامة . ولكن بالرغم من ان كافة الكواكب تتحرك في الحقيقة في نفس الاتجاه الذى يتم فيه دوران الشمس بالذات ، نجد ان سرعة حركتها غير متساوية . وسبب ذلك هو ان الكواكب تخلط بنسب معينة ، بين جمود كتلتها الذاتية وسرعة حركتها» .

ولم يستطع كيبلير ان يدرك ان تطابق اتجاه حركة الكواكب حول الشمس ، مع اتجاه دوران الشمس حول محورها ، لا يرتبط بقوانين حركة الكواكب ، بل يرتبط بمنشأ منظومتنا الشمسية . ويمكن اطلاق القمر الصناعى مثلا ، فى اتجاه دوران الشمس وعكس ذلك الاتجاه على حد سواء .

وقد تقدم العالم روبرت هوك نحو اكتشاف قانون جاذبية الاجسام ، الى حد اقرب بكثير مما وصل اليه كيبلير . وهذا ما يقوله هوك فى بحث عنوانه «محاولة لدراسة حركة الارض» نشره فى عام ١٦٧٤ : «انى سأطور احدى النظريات التى تتفق من كافة النواحى مع مبادىء الميكانيكا المعترف عليها من قبل الجميع . وهذه النظرية تستند الى ثلاثة فروض هى : اولا ، ان كافة الاجرام

السماوية دون استثناء ، تتميز بوجود جاذبية متجهة نحو مركزها ، وبفضل هذه الجاذبية نجد ان تلك الاجرام السماوية لا تجذب اقسامها الخاصة فقط ، بل تجذب اليها ايضا كافة الاجرام السماوية الاخرى الواقعة في منطقة تأثيرها . ثانيا . ان كافة الاجسام المتحركة على خط مستقيم وبصورة منتظمة ، تبقى محافظة على حركتها المستقيمة هذه الى ان تحرفها قوة خارجية معينة عن خط سيرها . والى ان تتخذ لنفسها مسارا دائريا او اهليلجيا او على شكل اى منحنى بسيط آخر . ثالثا ، يزداد تأثير قوى الجاذبية كلما اقتربت منها الاجسام الواقعة تحت تأثيرها . ولم استطع ان اثبت بواسطة التجربة حتى الآن ، درجات الجاذبية المختلفة وعند تطوير هذه الفكرة الى ابعد من ذلك في المستقبل ، فسوف يستطيع العلماء الفلكيون تحديد القانون الذى بموجبه تتحرك كافة الاجرام السماوية » .

وفي الحقيقة لا يمكننا الا ان نتعجب ، لان هوك لم يرغب في تطوير هذه الافكار ، مشيرا الى انشغاله باعمال اخرى .

ميكانيكا نيوتن والجاذبية ـ ان قصة اكتشاف نيوتن لقانون الجاذبية ، معروفة بما فيه الكفاية . ولذلك لا يكاد يستحق الحديث بصورة مفصلة ، عن ان الفكرة الاولى التي تنص على ان طبيعة القوى التي تجبر الحجر على السقوط وتحدد حركة الاجرام السماوية ـ هي نفس الفكرة التي نشأت عند نيوتن الطالب . والتي تفيد بان الحسابات الاولى لم تعط نتائج صحيحة ، وذلك لان المعلومات المتوفرة في ذلك الوقت حول المسافة بين الارض والقمر ، لم تكن مضبوطة ، وبعد مرور ١٦ عاما على ذلك ، ظهرت معلومات جديدة منقحة عن تلك المسافة . وبعد ان اجريت حسابات جديدة شملت حركة القمر وكافة كواكب المنظومة الشمسية المكتشفة حتى ذلك



الوقت ، بالاضافة الى المذنبات ، المد والجزر ، نشرت تلك النظرية .

ان اكتشاف قانون الجاذبية العامة ، يعتبر بحق أحد الانتصارات العظيمة للعلم . وعندما نقرن هذا الانتصار باسم نيوتن ، نتساءل بصورة لا ارادية ، ما الذي جعل هذا الاخصائي العبقري في العلوم الطبيعية ، يقوم بهذا الاكتشاف بالذات ، ولم يسبقه الى ذلك مثلا ، العالم غاليليو الذي اكتشف قوانين سقوط الاجسام الحر (وهو الذي ابدى بالمناسبة ، اهتماما يزيد بكثير عن الاهتمام الذي كرسه نيوتن لدراسة علم الفلك) ، او العالم روبرت هوك ، او غيرهما من العلماء البارزين الذين سبقوا نيوتن أو عاصروه ؟

ان المسألة هنا ليست في الصدفة السهلة ، أو في التفاحات الساقطة ، وحتى ليست في درجة العبقرية ، بالرغم من ان هذا الامر مهم للغاية بطبيعة الحال . لقد كان العامل الاساسي الحاسم ، يتلخص في انه كانت في حوزة نيوتن آنذاك ، القوانين التي تستخدم لوصف وتفسير كافة انواع الحركات ، وهي القوانين التي اكتشفها بنفسه . وهذه القوانين بالذات ، التي نسميها الآن بميكانيكا نيوتن ، هي التي ساعدته بوضوح تام ، على ان يدرك بأن القوى هي أصل

كافة الظواهر ، وهي الخاصية المحددة الرئيسية للحركة . وقد كان نيوتن أول من استطاع ان يفهم بوضوح تام ، انه لاجل تفسير حركة الكواكب ، يجب ان نبحث عن القوى بالذات وليس عن غيرها .

وقد حدد كيبلير بدقة مسارات الكواكب في المنظومة الشمسية ، وبين كيفية تغير اوضاع الكواكب في الفضاء بمرور الزمن . وعند معرفة المسار ، يمكن بواسطة معادلة الحركة ، ان نحدد حالا تلك القوة التي ولدت الحركة المعنية . وهذه المسألة قد حلت ايضا من قبل نيوتن .

ولكن ما هي هذه القوى ؟ وما هو دورها ومكانها في الطبيعة ؟ واخيرا ما هو مصدرها الطبيعي ؟

ان هذه الاسئلة غير قليلة كما يلاحظ القارىء ، وليس لدينا لحد الآن الاجابة التامة او الحل الكامل لها . وتقع مهمة الاجابة المطلوبة لهذه الاسئلة ، على عاتق علماء الفيزياء في المستقبل . ولكن الشيء الكثير وفي الدرجة الاولى قانون الجاذبية العامة بالذات ، الذي وضعه نيوتن ، اصبح منذ زمن بعيد في متناول العلم .

٢ — قانون الجاذبية العامة

تؤثر على كل شيء وليس لها حدود

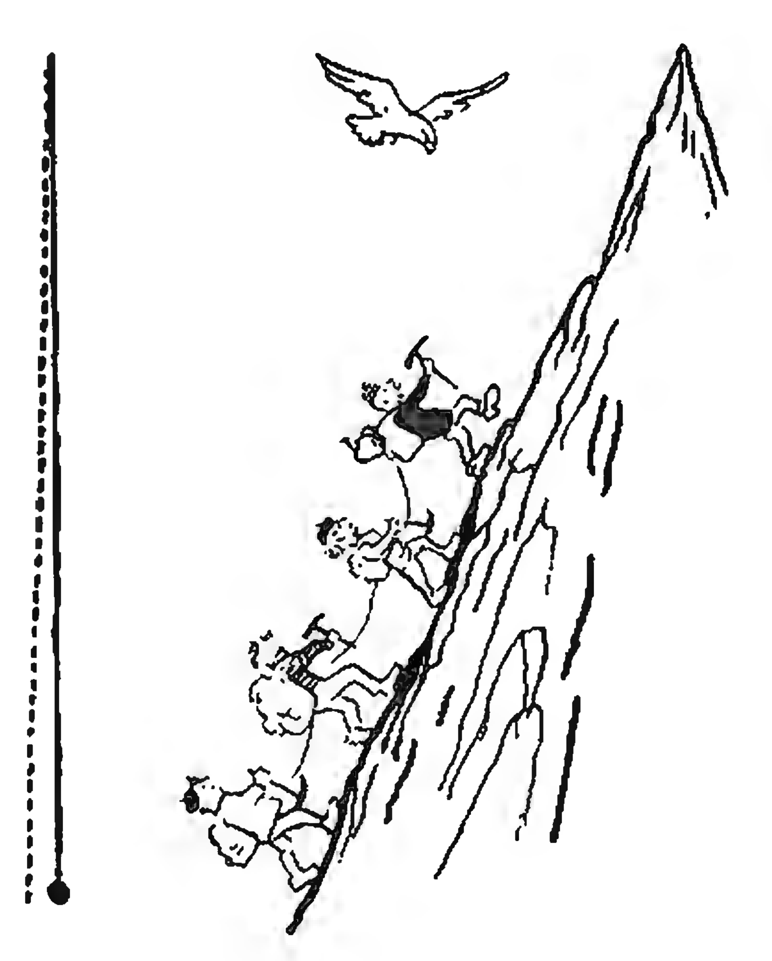
ان احدى الصفات الرائعة جدا لقوى الجاذبية العامة ، تنعكس في نفس الاسم الذي اطلقه عليها نيوتن : العامة . وهذه القوى اذا صح التعبير ، عامة الى اقصى درجة ، من بين كافة القوى الاخرى في الطبيعة . وكل الاشياء التي لها كتلة — والكتلة تتميز بشكلها غير المعين وبمادتها

المختلفة الانواع تماما — يجب ان تتعرض لمؤثرات قوى الجاذبية . ولايستثنى من ذلك حتى الضوء . ولو تصورنا قوى الجاذبية بشكل ظاهر للعيان ، على هيئة خيوط تمتد من اجسام معينة الى اجسام اخرى، سنجد عندئذ أننا امام عدد لا يحصى من هذه الخيوط التي تخترق الفضاء في كل مكان . وهنا تجدر الاشارة الى انه ليس في الامكان أن نحجب انفسنا عن قوى الجاذبية بقطع هذه الخيوط . ان قوى الجاذبية العامة لا تعرف الحدود . وباستطاعتنا دائما ان نضع حاجزا لا يمكن اختراقه من قبل المجال الكهربائي (يمكن ان يتألف هذا الحاجز من شاشة مصنوعة من أية مادة جيدة التوصيل) ؛ والمجال المغنطيسي كما هو معروف ، لا يمكنه التوغل الى داخل الموصل الفائق التوصيل . ولكن الافعال المتبادلة التجاذبية ، تنتقل بحرية مطلقة عن طريق كافة الاجسام المختلفة الانواع . اما الحواجز المصنوعة من مواد خاصة لا يمكن أن تخترقها الجاذبية (مثل مادة الكيفوريت التي ورد ذكرها في رواية اويلز « الناس الاوائل على سطح القمر ») فهي لا توجد الا في مخيلة مؤلفي الكتب الخيالية العلمية .

وقد ظهر منذ مدة قريبة نسبيا ، نبأ حول القياسات التي اجراها العالم الفلكي الفرنسي ألين ، اثناء فترة الكسوف الشمسي . وقد كانت نتيجة تحليل تلك القياسات ، تدل في الظاهر على وجود ظل للجاذبية ، وعلى ان قوة جذب الشمس للارض ، تقل عند وقوع القمر بينهما . ولكن ما الذي ظهر في حقيقة الامر ؟ لقد ظهر بكل بساطة انه لم يأخذ في الاعتبار تغير درجة حرارة اجهزة القياس ، وهو التغير الذي لا بد منه اثناء حدوث الكسوف الشمسي . وهذا التأثير الذي يبدو ضئيلا لاول وهلة ، هو الذي أوقع ألين

في الخطأ . ومنذ وقت قريب ، تمكن العالم الفيزيائي السوفييتي ف . براجينسكي ، ان يثبت بالتجربة عدم وجود ظل للجاذبية — بدقة قياسية عالية وصلت الى حد ١٠^-١٢ من وزن الجسم .

هل أن قوى الجاذبية عظيمة جدا ! — وهكذا نجد ان قوى الجاذبية موجودة في كل مكان وتخترق كافة الاشياء . ولكن لماذا لانشعر بجاذبية اكثر الاجسام المحيطة بنا ! ؟ ولماذا نشعر بالجاذبية الارضية مثلا ، في كل خطوة ، وحتى اعلى الجبال ، هذه الكتل الحجرية الهائلة الضخامة ، اذا كانت لها جاذبية : فهل تقتصر فقط على جلب النسور ومتسلقي الجبال ؟ ولو حسبنا حصة جاذبية جبل افرست من مجموع الجاذبية الارضية عامة (وهو الجبل الواقع في احسن ظروف موضعية) لظهر بانها لاتساوي سوى نسبة تقدر بعدة اجزاء من الالف فقط . اما قوة التجاذب المتبادل بين شخصين متوسطي الوزن ، واقفين على مسافة متر واحد فقط من بعضهما البعض ، فهي لا تزيد على ٣٠٠ ملجرام . الى هذا الحد يبلغ ضعف قوى الجاذبية . وهنا ربما يتعجب بعض القراء من هذا القول ، ضعيفة ؟ ! كيف يمكننا ان نصف بالضعف ذلك « الحبل » الذي يمكن ان تعلق به الارض بالشمس او القمر بالارض ، خاصة اذا اخذنا في الاعتبار تلك المسافات الهائلة التي تفصل بينها ؟ لقد ظهرت هذه الحيرة اكثر من مرة . وعلى سبيل المثال ، يحدثنا معمم العلوم السوفييتي الشهير ياكوف بيريلمان عن صدور كتاب الاستاذ كاربنتير « العلم المعاصر » في نهاية القرن التاسع عشر (اى منذ مدة ليست بعيدة نسبيا) ، الذي يقول فيه المؤلف ، ان الضعف المتناهي لقوى الجاذبية ، المؤكد في علم الفيزياء ، يجعلنا بصورة عامة نفقد الثقة في هذا العلم . ومن



الطريف ان نذكر هنا ، ان مقدمة الكتاب المتعاطفة . قد "ذُتبت بقلم الاديب الروسى البارز ليف تولستوى .

ان تلك الحقيقة التى تنص بصورة عامة على ان قوى الجاذبية اضعف الى درجة كبيرة جدا من القوى الكهربائية . تؤدى الى التقسيم الفريد فى نوعه ، لمناطق تأثير هذه القوى . وعلى سبيل المثال ، بعد ان نعرف ان قوة جاذبية النواة للالكترونات فى داخل الذرات ، اضعف من القوة الكهربائية بمقدار

١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠

يمكننا ان نفهم بسهولة ان العمليات التى تحدث فى داخل الذرة ،

تحدد عمليا بواسطة القوى الكهربائية وحدها فقط (اذا لم نأخذ بنظر الاعتبار الآن العمليات التى تحدث فى داخل النويات) . وتصبح قوى الجاذبية محسوسة واحيانا هائلة ، عندما تظهر امامنا تلك الكتل العظيمة الوزن ، مثل كتل الاجرام السماوية : الكواكب ، النجوم وغيرها .

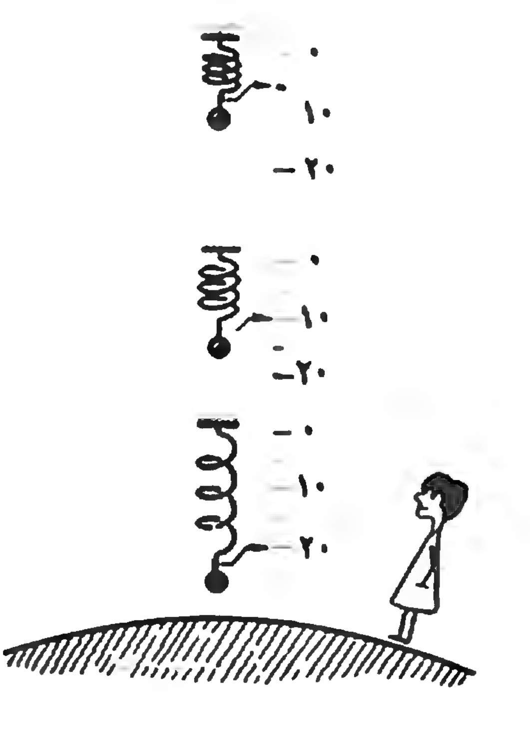
ان الارض والقمر يتجاذبان بقوة تساوى على وجه التقريب ٢٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ طن . حتى ان بعض النجوم البعيدة عنا جدا ، التى يصل ضوءها الى الارض خلال عدة سنوات ، تبعث الينا بتحيتها التجاذبية ، التى يعبر عنها برقم هائل — مئات الملايين من الاطنان .

نصف قطر تأثيرها لانهائي — اننا فى الواقع قد وافقنا بصمت على ان الجاذبية المتبادلة بين جسمين من الاجسام ، تقل كلما زادت المسافة الفاصلة بينهما . وهذه الحقيقة بديهية وواضحة جدا ، بحيث قلما يوجد من يشك فى صحتها . ولكن لنحاول ذهنيا ان نجرى التجربة التالية : سنقوم بقياس القوة التى تجذب بها الارض جسما من الاجسام ، مثل السنجة الحديدية التى تزن عشرين كيلوجراما . وليكن شرط التجربة الاولى هو أن توضع السنجة على مسافة كبيرة جدا من الارض . وفى هذه الحالة ، ستكون قوة الجاذبية (التى يمكن بالمناسبة ان نقيسها بواسطة ابسط الموازين الزنبركية العادية) مساوية للصفر عمليا . وكلما زاد اقتراب السنجة من الارض ، ستظهر الجاذبية المتبادلة وتزداد قيمتها تدريجيا ، وفى نهاية الامر عند وصول السنجة الى سطح الأرض ، سيقف مؤشر الميزان عند الرقم «٢٠ كيلوجراما» لان الشىء الذى نسميه بالوزن ، بغض النظر عن دوران الارض ، ما هو الا عبارة

عن قوة جذب الارض للاجسام الواقعة على سطحها . ولكن لو استمرينا الآن في تجربتنا ، وانزلنا السنجة الى داخل منجم عميق ، ما الذى سيحدث عندئذ ؟ من السهل ان نتصور ان هذا العمل سيؤدى الى تقليل القوة المؤثرة على السنجة . وهذا واضح على الاقل ، من اننا لو استمرينا فى تجربتنا الذهنية هذه ووضعنا السنجة فى مركز الارض ، فسوف تتوازن قوى الجاذبية من كافة الاتجاهات ، ويقف مؤشر الميزان عند الصفر تماما . وهكذا نجد انه ليس فى الامكان القول ببساطة ، ان قوى الجاذبية تقل كلما زادت المسافة بين الاجسام – بل يجب ان نشترط دائما بان هذه المسافات المعنية هنا بالذات ، يجب ان تكون اكبر بكثير من ابعاد او حجوم الاجسام نفسها . وفى هذه الحالة فقط ، يصح قانون نيوتن الذى ينص على : ان قوى الجاذبية العامة تقل بصورة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بين الاجسام المتجاذبة . ولنحاول الآن ان نفسر هذا القانون بصورة اوضح . من الناحية الحسابية يكون معنى ذلك ، انه على سبيل المثال اذا زادت المسافة الى ثلاثة اضعاف ما كانت عليه ، فسوف تقل قوة الجاذبية بمقدار ٣٢ ، اى بتسع مرات وهلم جرا . ولكن لم يتضح من هذا الحساب بعد ، امر واحد ، هو ان هل هذا التغير فى المسافة سريع ام غير سريع جدا ؟ وهل يعنى مثل هذا القانون ، ان الفعل المتبادل يصبح ملموسا عمليا ، بين الاجسام القريبة جدا من بعضها البعض فقط ، ام بين الاجسام البعيدة عن بعضها البعض بمسافات كبيرة أيضا ؟

ربما يكون الجواب على هذا السؤال ، اسهل بكثير عند مقارنة قانون تناقص قوى الجاذبية بزيادة المسافة ، مع قانون انخفاض

شدة الاضاءة كلما ابتعدنا عن مصدر الضوء . الظاهر ان نفس القانون الواحد بالذات ، ينطبق على الحالتين الاولى والثانية معا . وهو التناسب العكسى مع مربع المسافة . ولكننا نرى النجوم التى تبعد عنا بمسافات هائلة ، لا يمكن حتى لشعاع الضوء الذى ليس لسرعته مثيل ، ان يقطعها الا فى مليارات السنين ! ولكن اذا كان ضوء هذه النجوم يصل الينا ، فذلك يعنى (عند وجود قانون واحد للتناقص) اننا يجب ان نشعر بجاذبيتها ولو الى درجة ضعيفة جدا . وبالتالى ، نجد ان تأثير قوى الجاذبية العامة يمتد الى مسافات غير محدودة . مع تناقصه باستمرار . وكما يقول الفيزيائيون ، نصف قطر تأثيرها لانهائى . ان قوى الجاذبية هى عبارة عن قوى بعيدة المدى . وهذا هو « اسمها الرسمى » فى علم الفيزياء . ولا يمكن القول ان كافة القوى تتميز بهذه الخاصية كما سنرى فيما بعد . ونظرا للتأثير البعيد المدى للجاذبية ، فانها تربط او تقيد كافة الاجسام الموجودة فى الكون .



والبطء النسبى فى تناقص القوى بزيادة المسافة ، يبدو واضحا فى كل خطوة فى الظروف الارضية : ان كافة الاجسام لا تغير من وزنها ، عند نقلها من ارتفاع الى آخر (او بصورة اكثر دقة ، تغير من وزنها ولكن بقدر ضئيل للغاية) وذلك

لانه عند التغير القليل نسبيا للمسافة ـ الى مركز الارض فى هذه الحالة ـ لا تتغير قوى الجاذبية فى الواقع .

وتجدر الأشارة بهذه المناسبة ، الى انه لهذا السبب بالذات ، تم اكتشاف قانون تغير قوى الجاذبية مع المسافة « فى المساء » . ان كافة المعلومات الضرورية ، مستقاة هنا من علم الفلك . ولكن لا يجب ان نفكر بانه ليس فى الامكان معرفة حقيقة تناقص قوة الجاذبية بزيادة الارتفاع ، فى الظروف الارضية أيضا . وعلى سبيل المثال ، نجد ان الساعة البندولية التى فترة ذبذبتها تساوى ثانية واحدة ، تتأخر فى اليوم الواحد بحوالى ثلاث ثوان ، عندما نرفعها من الطابق التحتانى الى اعلى طابق فى جامعة موسكو (على ارتفاع ٢٠٠ م) ، وسبب ذلك هو تناقص قوة الجاذبية .

ان الارتفاعات التى تحلق عليها الاقمار الصناعية . يمكن مقارنتها مع نصف قطر الكرة الارضية ، لذلك عند تصميم مساراتها ، يكون من الضرورى حساب تغير قوة الجاذبية الارضية بتغير المسافة .

الخاصية الغريبة لقوى الجاذبية ـ على مدى عصور كثيرة ، كان العلماء فى القرون الوسطى يثقون ثقة لا تتزعزع فى ادعاء العالم ارسطوطاليس ، بان سرعة سقوط الجسم تزداد كلما زاد وزنه . حتى ان التجابة اليومية العادية ، تؤكد هذا الادعاء : من المعروف ان الزغربة تسقط الى الارض ابطأ من سقوط الحجر . ولكن العالم غاليليو استطاع أن يبين لاول مرة ، ان الامر برمته يتلخص هنا فى تدخل مقاومة الهواء فى المسألة ، حيث تغير تغييرا جذريا من الصورة التى كنا سنحصل عليها فى حالة تعرض كافة الاجسام لقوة الجاذبية الارضية وحدها فقط . وهناك تجربة رائعة الوضوح للعيان ، تجرى باستخدام ما يسمى بانبوب نيوتن ،

وتساعد بسهولة تامة على تقييم دور مقاومة الهواء . واليكم وصفا لهذه التجربة بصورة مختصرة . نأخذ انبوبا زجاجيا عاديا (لكى نرى ما الذى سيحدث فى داخله) ونضع فى داخله مختلف الاشياء العادية : خرادق ، قطع صغيرة من الفلين ، واخيرا نسقط فيه ريشة صغيرة . ولنتتبع الآن عملية سقوط نفس هذه الاشياء المذكورة ، عند تفريغ الانبوب من الهواء . ان الريشة الصغيرة بعد ان تخلت عن بطئها ، سقطت الى الاسفل بنفس سرعة سقوط الخردقة وقطعة الفلين الصغيرة ، دون ان تتخلف عنهما . وهذا يعنى ان حركتها فى السابق ، كانت تعرقل بسبب مقاومة الهواء ، التى اثرت أيضا بدرجة اقل على حركة قطعة الفلين وبدرجة أقل منها على حركة الخردقة . وهكذا نجد انه لولا مقاومة الهواء ، وعند وقوع الجسم تحت تأثير قوى الجاذبية العامة وحدها – اى تأثير الجاذبية الارضية فى هذه الحالة – لسقطت كافة الاجسام بنفس السرعة تماما ، وتسارعت بنفس الدرجة أيضا .

ولكن « لا جديد تحت الشمس » . فقد جاء على لسان الشاعر القديم لوقريطس كار فى ملحمته الشهيرة المعنونة بـ « طبيعة الاشياء » التى دونها قبل الفى سنة ، ما يلى :

« ... ان سرعة سقوط كل جسم من الاجسام فى الهواء تزداد بزيادة وزنه ... كما ان الماء او الهواء لا يمكنهما مقاومة حركة الاجسام المختلفة بنفس الدرجة الواحدة ... والجسم الاسرع سقوطا هو الجسم الاثقل من غيره .. وعلى العكس من ذلك لا يمكن للفراغ على الاطلاق وفى اى وقت من الاوقات واى مكان كان ، ان يعرقل حركة الاجسام او يصبح مسندا لها ...

ونظرا لطبيعة الفراغ الخاصة ، فانه يفسح المجال لكافة الاشياء ن تتحرك فيه بحرية تامة ... ولهذا السبب يجب ان تنطلق كافة

الاجسام فى الفراغ دون عائق ،  وبنفس السرعة الواحدة بالذات بغض النظر عن اختلاف وزنها ... ! .



وبالطبع لم تكن هذه الكلمات الرائعة ، سوى نوع من التخمين الجيد . ولكى يتحول هذا التخمين الى قانون ثابت يعتمد عليه ، كان من الضرورى اجراء عدد كبير جدا من التجارب ابتداء من التجارب الشهيرة التى اجراها غاليليو ، الذى بحث مسألة سقوط الكرات المتساوية الحجوم من اعلى برج بيزا المائل المعروف ، وكانت تلك الكرات مصنوعة من مواد مختلفة (مثل المرمر ، الخشب ، الرصاص وغير ذلك) وانتهاء بالقياسات المعقدة العصرية ، لتأثير الجاذبية على الضوء . وكل هذه المعطيات التجريبية المنوعة جدا ، (تعزز) اعتقادنا بصورة راسخة ، فى ان قوى الجاذبية تزود كافة الاجسام بنفس التسارع الواحد ؛ ونجد على الأخص ، ان تسارع السقوط الحر للاجسام ، الناجم عن الجاذبية الارضية ، يكون متساويا بالنسبة لكافة الاجسام ، ولا يعتمد على تركيبها او بنيتها او كتلتها بالذات .

ونكرر القول هنا ، بان هذا القانون الذى يبدو بسيطا لاول وهلة ، يعبر بالذات عن اهم خاصية بارزة من خواص قوى الجاذبية . ولا توجد ايه قوى اخرى بتاتا ، يمكنها ان تكسب كافة الاجسام نفس التسارع الواحد ، بغض النظر عن كتلتها . ولنتناول على

سبيل المثال ، لاعب كرة القدم عندما يضرب الكرة بقدمه . وفى هذه الحالة ، كلما كانت الكرة خفيفة الوزن ، كلما زادت سرعة انطلاقها (عند تساوى قوة ومدة الضربة) . ولكن ماذا نستطيع القول عن لاعب الكرة ، الذى تكسب ضربته نفس التسارع المتساوى لكل من الكرة الجلدية العادية والسنجة الحديدية التى تزن ثلاثين كيلوجراما ، او حتى الفيل ؟ كل منا سيقول ان هذا الامر غير محتمل بالمرة . ولكن هذا ما يحدث بالفعل ، فى حالة تأثيرات قوى الجاذبية ، مع شرط واحد فقط ، هو اذا امكن التعبير عن ذلك ، ان تستمر « ضربة » الجاذبية على الدوام ، ولن تتوقف ابدا .

اما عن المعنى الفيزيائى العميق الذى يكمن وراء تلك الخاصية الرائعة لقوى الجاذبية ، فسوف نتكلم كثيرا فيما بعد ، عند مناقشة مسألة طبيعة الجاذبية العامة ، وعند بحث ما يسمى بنظرية الاحتمالات العامة . والآن سيتوجب علينا ان نتذكر ما هو اساس وصف الحركة فى علم الميكانيكا . وعندما تحدثنا فى وقته عن تحديد القوة فى الميكانيكا ، كنا مضطرين الى الاعتماد على قوانين نيوتن الميكانيكية ، التى بموجبها يتناسب التسارع الذى يكتسبه الجسم ، تناسبا طرديا مع القوة المؤثرة عليه وعكسيا مع كتلة الجسم بالذات . وهذا يقودنا الى نتيجة بسيطة ومشهورة ، هى : لكى لا يكون التسارع معتمدا على الكتلة ، يجب ان تكون القوة متناسبة مع الكتلة . ونأخذ على سبيل





المثال جسمين مختلفين : الكرة الصغيرة المستخدمة فى لعبة كرة المنضدة ، وكرة ثانية بنفس الحجم مصنوعة من الرصاص . ان كتلة الكرة الاولى اقل من كتلة الكرة الثانية بمقدار ٣٠٠ مرة تقريبا . وهذا يعنى انه لتزويد الكرة الرصاصية ، بنفس التسارع الذى نزود به كرة المنضدة ، يجب ان نسلط عليها قوة تزيد على القوة المسلطة على الكرة الاولى بمقدار ٣٠٠ مرة تقريبا . ولكن بتأثير الجاذبية الارضية ، تسقط كرة المنضدة والكرة الرصاصية على حد سواء بنفس التسارع الواحد تماما . وينتج عن ذلك ، ان هذه الجاذبية منظمة تبعا لكتلة الجسمين : ان قوة جذب الارض للكرة الرصاصية تزيد على قوة جذبها لكرة المنضدة ،

بعدد من المرات يساوى عدد مرات زيادة كتلة الكرة الرصاصية على كتلة كرة المنضدة .

وهكذا يمكن اختصار الخاصية الرائعة لقوى الجاذبية العامة ، فى الحقيقة الموجزة التالية : ان قوى الجاذبية تتناسب طرديا مع كتلة الاجسام . ونؤكد هنا على ان الحديث يدور فى هذه الحالة ، عن تلك الكتلة نفسها ، التى تستخدم فى قوانين نيوتن كمقياس للقصور الذاتى . حتى انها تسمى بكتلة القصور الذاتى .

وتكمن فكرة عميقة رائعة ، فى الكلمات الست التالية « قوة الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتلة » . ان الاجسام الكبيرة والصغيرة ، الحارة والباردة ، المختلفة التركيب الكيميائى تماما ، ومن اية بنية كانت — كلها تتعرض لنفس القدر من الفعل المتبادل التجاذبى ، اذا كانت كتلها متساوية .

أليس من المحتمل أن يكون هذا القانون بسيطا بالفعل ؟ ان غاليليو على سبيل المثال ، اعتبر هذا القانون واضحا للعيان تقريبا من تلقاء نفسه . وقد ناقش هذه المسألة كما يلى : هناك جسمان مختلفا الوزن وهما فى حالة سقوط الى الاسفل . واستنادا الى تعاليم ارسطوطاليس ، يجب ان يسقط الجسم الاثقل اسرع من الجسم الاخف حتى فى الفراغ . والآن نربط الجسمين مع بعضهما البعض . عندئذ يجب ان يسقط الجسمان اسرع من ذى قبل ، لأن وزنهما العام قد زاد ، هذا من ناحية ، ومن ناحية اخرى ، نجد ان اضافة جسم بطىء السقوط الى الجسم السريع السقوط ، تجعله يخفف من سرعة سقوطه . وهذا تناقض واضح تماما ، لا يمكن التغلب عليه الا اذا فرضنا ان كافة الاجسام تسقط بنفس التسارع المتساوى ، تحت تأثير الجاذبية الارضية فقط .

ويبدو بان كل الاشياء متعاقبة ! ولكن لنفكر عميقا من جديد ، فى المناقشة التى اجريناها هنا . وستكون مبنية على طريقة الاثبات المنتشرة ، التى تقوم على « البدء من النقيض » . بعد ان فرضنا بان الجسم الاثقل يسقط اسرع من الجسم الاخف ، وقعنا فى حالة تناقض واضحة . وليلاحظ القارىء ، بانه قد ظهرت منذ البداية فرضية مفادها ان تسارع الجسم الساقط بحرية ، يعتمد على الوزن وحده ولا شيء غير الوزن فقط (وعلى الاصح يعتمد على الكتلة وليس على الوزن) .

ولكن هذا الامر لم يتضح من قبل بتاتا (اى قبل التجربة) . والآن ماذا لو كان التسارع يعتمد على حجم الجسم ؟ او على درجة الحرارة ؟ او على اللون او الرائحة (وهنا نطلق العنان لحرية التخيل) ؟ وباختصار نتصور وجود شحنة تجاذبية ، مماثلة للشحنة الكهربائية ، وهى كهذه الشحنة الاخيرة ، لا ترتبط تماما باية علاقة مباشرة مع الكتلة . ان المقارنة مع الشحنة الكهربائية مفيدة جدا . والآن نضع ذرتى غبار بين الواح المكثف الكهربائى المشحونة ، ونفرض بان شحنتيهما متساويتان والنسبة بين كتلتيهما هى ١ : ٢ . عندئذ سيكون الفرق بين التسارعين ، يساوى الضعف ، وذلك لان القوى التى تحددها الشحنات متساوية ، وفى حالة تساوى القوى يكون تسارع الجسم الذى كتلته ضعف كتلة الجسم الثانى ، اقل بمرتين من تسارع الجسم الأخير . ولو ربطنا بين ذرتى الغبار ووحدناهما معا ، فمن الواضح ان تصبح للتسارع فى هذه الحالة ، قيمة متوسطة جديدة . وفى هذه الحالة ، لا يمكن لأى حل افتراضى آخر ، عدا الحل المعتمد على البحث التجريبى للقوى الكهربائية ، ان يعطى اية نتيجة فى هذه الحالة . وكانت الحالة ستكون مماثلة

تماما لما هى عليه الآن ، لو لم تكن الشحنة التجاذبية مرتبطة مع الكتلة . والتجربة وحدها هى التى تستطيع الاجابة عما اذا كانت هذه العلاقة الترابطية موجودة فى الواقع ام لا . اما نحن فقد ادركنا بدورنا ، ان التجارب التى اثبتت تساوى التسارع المعتمد على الجاذبية بالنسبة لكافة الاجسام ، هى التى بينت بالذات ، بصورة جوهرية ، ان الشحنة التجاذبية (الكتلة التجاذبية او الثقيلة) تساوى كتلة القصور الذاتى .

ان التجربة والتجربة وحدها فقط ، يمكن ان تعتبر بمثابة اساس للقوانين الفيزيائية ، ومعيار لصحتها أيضا . ولنتذكر على الاقل تلك التجارب الفائقة الدقة ، التى اجريت فى جامعة موسكو باشراف الاستاذ براجينسكى . ان تلك التجارب التى بلغت درجة دقتها الى حد (١٠^-١٢) تقريبا ، اكدت من جديد تساوى الكتلة الثقيلة وكتلة القصور الذاتى .

ان قانون الجاذبية العامة ، مبنى على اساس التجربة وعلى الاختبارات الطبيعية الواسعة بالذات — ابتداء من النطاقات المتواضعة للمختبرات العلمية الصغيرة ، الى النطاقات الهائلة للمختبرات الفضائية — وينص هذا القانون على ما يلى (بتلخيص كل ما ذكرناه سابقا) :

ان قوة التجاذب المتبادل بين اى جسمين ، يقل حجمهما كثيرا عن المسافة الفاصلة بينهما ، تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتى الجسمين وعكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بينهما .

ويسمى عامل التناسب هنا ، بثابت الجاذبية . ولو قسنا المسافة بالسنتمترات والزمن بالثوانى والكتلة بالجرامات ، فسوف تبلغ قيمة ثابت الجاذبية المقربة ، رقما يساوى ٦,٦٨ × ١٠^-٨ ، ووحدة القياس هنا ستكون (سم^٣/جم . ثا^٢).

٣ – تأثير الجاذبية

المنظومة الشمسية – ان مصطلح « الميكانيكا الفلكية » الذى يبدو الآن قديما بعض الشىء، لم يدخل فى اللغة العلمية بصورة طارئة . والأجرام السماوية اختبرت لاول مرة بقانون الجاذبية العامة . ان التناسق الساحر بالذات ، للقانون الرياضى الوحيد ، الذى يتحكم فى حركة الكواكب ودورانها الازلى حول الشمس ، هو الذى جذب علماء الفيزياء ، الفلكيين وعلماء الطبيعة عامة ، بقوة قاهرة الى نظرية نيوتن . ويرتبط ببحث حركة الكواكب ، احد الانتصارات العظيمة جدا فى العلوم الطبيعية ، وهو اكتشاف الكوكب الجديد نبتون من قبل العالم الفرنسى ليفيريه والعالم الانجليزى ادامسون . ان الانحرافات الصغيرة فى حركة الكوكب اوران على مداره ، عن القيم المحسوبة طبقا لنظرية نيوتن ، كانت قد فسرت بحدوث اضطراب من ناحية كوكب جديد غير معروف . وقد حسب مدار هذا الكوكب ، وما أن وجه علماء الفلك تلسكوباتهم فى الاتجاه المعين ، او المنطقة المعينة فى السماء ، حتى اكتشفوا فى الحال ذلك الكوكب الجديد .

وحتى الوقت الحاضر ، تعتبر الجاذبية العامة فى تصورنا ، بمثابة الزنبرك الاساسى لحركة الاجرام السماوية .

وقد يبدو من المدهش ، ان تكون قوى الجاذبية ضئيلة جدا فى حالة تبادل الفعل بين الاجسام المحيطة بنا على سطح الارض ، بينما يصبح دورها عظيما وحاسما فى الفضاء الخارجى ، اى على النطاق الكونى .

والاستاذ يا . بيريلمان يوضح ذلك بصورة جلية جدا . ان كتل الاجرام السماوية ، عظيمة جدا بلا شك . والمسافة الفاصلة بين

هذه الاجرام السماوية ، هى مسافة هائلة ، أيضا . ولكن قوة الجاذبية كما هو معروف ، تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتل وعكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بينها. اما كتلة الجسم فتتناسب مع حجمه ، وبالتالى تتناسب مع مكعب ابعاده الخطية المستقيمة . ولهذا السبب ، اذا زادت حجوم الاجسام وابعادها عن بعضها البعض، بمقدار يساوى ن من المرات، فسوف نجد ان قوة الجاذبية ستزداد بمقدار $\frac{ن^{٣} \times ن^{٣}}{ن^{٢}} = ن^{٤}$ من المرات ! وهذا يعنى انه عندما تزداد كافة ابعاد الكون الى الضعف على سبيل المثال ، فسوف تزداد قوى الجاذبية فيها بمقدار $٢^{٤}$ = ١٦ مرة ! وهذا السبب هو الذى يجعل جاذبية الكتل السماوية الواقعة على مسافات كبيرة جدا ، اكبر الى حد لايقاس ، من جاذبية الاجسام الصغيرة الواقعة بالقرب من بعضها البعض .

لقد اصبح من الاشياء العادية والطبيعية ، ان تحتوى كافة التقاويم على بيان اوجه القمر ، موعد وطبيعة الكسوفات الشمسية والقمرية . ويصدر علماء الفلك ، جداول دقيقة الى اقصى حد ، يبين فيها من موعد مسبق بسنوات كثيرة ، فى اية نقطة من القبة السماوية الزرقاء يجب ان تقع الكواكب فى اية لحظة من الزمن . كما يمكن التنبؤ بدقة عالية ، بظهور المذنبات الكثيرة فى السماء (وهى التى كانت تسمى سابقا « بالنجوم المذنبة ») مخترقة المنظومة الشمسية من كافة الجهات .

أصل الكواكب — ربما يبدو لنا اننا نعرف كل شىء عن حركة كواكب منظومتنا الشمسية . ولكن هذا الامر ليس كذلك تماما . ان هذه المنظومة قد نشأت فى وقت غير معروف وتطورت

وما زالت تتغير حتى في الوقت الحاضر . وعمرها معين ايضا . وهذا الثبات والاستقرار الباديان على منظومتنا الشمسية على مدى عصور كثيرة من الزمن ، لهما سبب واحد فقط ، يتلخص في ان الناس يلاحظونها خلال فترة زمنية صغيرة ، بالنسبة لعمر المنظومة الشمسية نفسها . وحتى لو اننا راقبنا احد الاشخاص لمدة عشر ثانية على سبيل المثال ، لتكونت لدينا فكرة تفيد بان جسمه ثابت تماما دون تغيير .

والآن ماذا يمكننا ان نقوله عن ماضي منظومتنا الشمسية ؟ لقد حير هذا السؤال منذ قديم الزمان عقول العلماء . ووضعت فرضيات كثيرة ، كما ظهرت تخمينات اكثر منها عددا . ومن بين هذه الفرضيات والتخمينات ، ما هو ساذج او شاعري او خيالي بصورة صريحة .

وسوف لا نتحدث هنا عن التخمينات العديدة ، التي تعود الى زمن ما قبل نيوتن ، لأنها كانت على الاغلب غير علمية بالمعنى المعاصر لهذه الكلمة .

ونسأل قبل كل شيء : ما هو مصدر مادة بناء المنظومة الشمسية ؟ ويدور الحديث هنا على الاصح ، عن مادة البناء التي بنيت منها الكواكب على وجه الخصوص ، وذلك لان اكثر الباحثين يتفقون تماما على ان الشمس اكبر عمرا من بقية الكواكب المحيطة بها * .

---

* ان مسألة نشوء النجوم وخاصة الشمس ، تعتبر ذات اهمية عظيمة بذاتها . ولكنها لا زالت بعيدة عن الحل لحد الآن ، وسوف لانتطرق اليها في هذا الكتاب . وسيجد القارئ، في فصول الكتاب الخاصة بالقوى النووية والافعال المتبادلة الضعيفة، بعض الملاحظات حول العمليات الجارية في النجوم .

وحول هذا الموضوع يدور النقاش بين الباحثين منذ قديم الزمان . والفرضيتان الرئيسيتان المقترحتان هنا ، لهما كل على انفراد ، عدد من الانصار المتحمسين ، وتتغير كفتا الميزان بالتناوب ، حيث ترجح الكفة الاولى تارة بينما ترجح الكفة الثانية تارة اخرى ، وهكذا يصبح من الصعب ان نخرج بنتيجة حاسمة .

وقد اشتهرت على نطاق واسع فرضية (كنت — لابلاس) ، التي اعتبرت في فترة من الزمن بمثابة فرضية واضحة تقريبا ؛ واستنادا الى هذه الفرضية ، نجد ان المادة التي تتألف منها الكواكب ، هي عبارة عن حمم متوهجة هائلة ، منصبة في الفضاء نتيجة لانفصالها عن سطح الشمس .

وفي المفهوم العصري لهذه الفكرة ، نجد ان مادة بناء الكواكب ، نشأت في نفس الوقت مع نشوء الشمس ، وانفصلت عنها في مرحلة تكوين الشمس ، من التكثفات الغازية واللهبية الناشئة ما بين النجوم . وهذا ما يقوله الاكاديمي السوفييتي ف . فيسنكوف فيما يتعلق بهذه المسألة : « ان الشمس قبل ان تتمكن من التحول الى كوكب ، اي باستمرارها على التقلص بشدة ، كان يتوجب عليها ان تترك عند مستوى خط الاستواء تقريبا ، كمية كبيرة من المادة التي لم تتمكن من تركيز نفسها في جسم متحد ، نتيجة لسرعة الدوران الهائلة » . وقد لعبت المجالات المغنطيسية والاشعاعات الجسيمية دورا جوهريا في هذه العملية .

وهناك فرضية مضادة لذلك ، هي فرضية الاستيلاء ، التي تفيد بان مادة بناء الكواكب ، أتت من الفراغ ما بين النجوم . اما دور الشمس في هذه العملية ، فقد تلخص فقط في الاستيلاء على هذه المادة وحجزها . وقد ظهرت هذه الفكرة وصيغت بدقة

لاول مرة ، من قبل العالم الرياضي البارز والباحث القطبي ، والخبير الجغرافي والفلكي ، والعالم الجيوفيزيائي ، الذي يتمتع بمواهب عديدة اخرى يمكن اضافتها الى قائمة اختصاصاته المذكورة هنا ، الرجل ذو الاطلاع العلمي الواسع جدا ، الحائز على لقب بطل الاتحاد السوفييتي ، الاكاديمي الفذ اوتو يوليفيج شميدت .

ولا يمكننا لحد الآن ان نختار نهائيا اية فرضية من هاتين الفرضيتين الاساسيتين ، بالرغم من ان اكثر علماء الفلك ، يعتبر الفرضية الاولى اقرب الى الاحتمال . ولا بد ان نشير هنا الى شيء آخر ، هو : بغض النظر عن الاختلاف الجوهري الملموس بين فرضية الاستيلاء وفرضية التكوين في وقت واحد ، أو الانصرام ، هناك اشياء كثيرة مشتركة بينهما . وسوف نتكلم فيما بعد عن هذه الاشياء المشتركة . ومهما كان مصدر المواد الخام اللازمة للكواكب ، فان تلك المواد كانت بحاجة الى المرور بسلسلة طويلة من التغيرات ، التي ادت الى وجود الحالة الراهنة للمنظومة الشمسية . والآن ما هي الصورة التي كانت عليها الكواكب في الاصل ؟ على الارجح ، كانت توجد قبل ظهور الكواكب ، سحابة هائلة في الغاز واللهب تدور حول الشمس . وهذه الفكرة تتفق تماما مع كلتا الفرضيتين المذكورتين .

<u>مصير السحابة الهائلة</u> — ان مصير السحابة الهائلة المذكورة ، قد تحدد فيما بعد بثلاثة عوامل رئيسية هي : الافعال المتبادلة التجاذبية للجسيمات مع الشمس ومع بعضها البعض ؛ تصادم الجسيمات ، واخيرا تأثير الاشعاع الشمسي . وبطبيعة الحال ، يجب ان نأخذ في الاعتبار حقيقة الدوران بالذات . ان نظرية منشأ المنظومة الشمسية ، التي وضعها الاكاديمي ا . شميدت

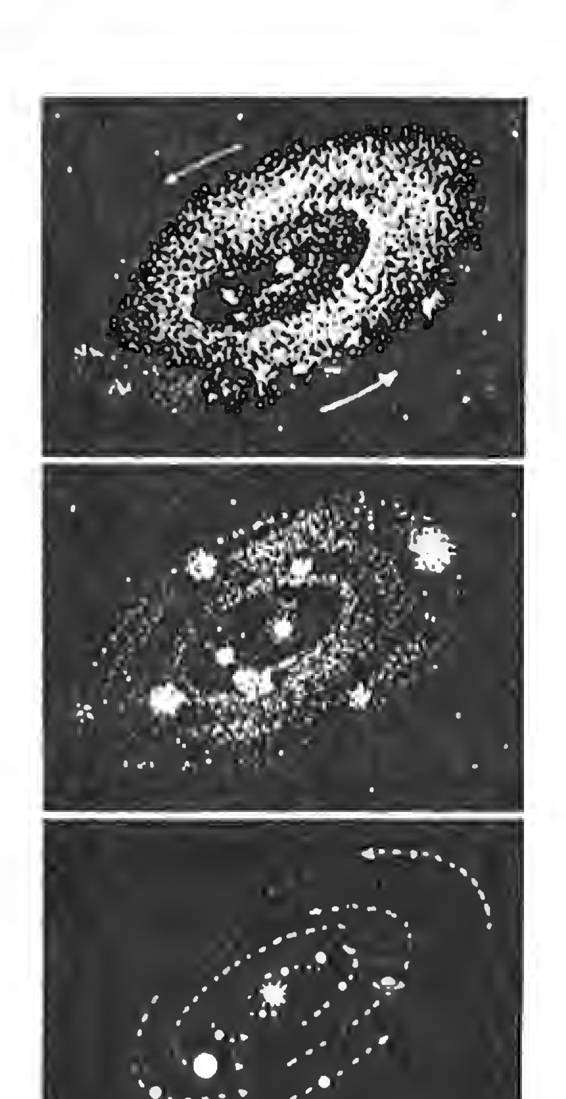
بالاشتراك مع رفاقه من العلماء والاخصائيين الآخرين (نستطيع التكلم هنا الآن عن النظرية بالذات ، وليس عن الفرضية) تتابع تطور السحابة الدائرة بالقرب من الشمس ، حتى تكوين وظهور الكواكب . واذا اردنا أن نتحدث بعبارات بسيطة عما تغنيه الصيغ المعقدة التى يتعامل معها العلماء ، لحصلنا على الصورة التالية :

لقد تغير شكل السحابة تغيرا مدهشا خلال ملايين السنين . وابتدأت تتفلطح تدريجيا ببطء ، متحولة الى قرص مسطح دوار . واخذت المسافات بين الجسيمات تقل ، بينما تزداد قوى الجاذبية . ولهذا السبب نشأت تكثفات كثيرة جدا فى الفضاء . وهنا ابتدأ مايسمى بتكثيف المواد بالجاذبية (Gravitational condensation) . وهذه العملية مشابهة لعملية تكوين الضباب من بخار الماء . ولكن فى هذه الحالة لا تؤثر القوى الجزيئية ، بل تؤثر قوى الجاذبية .

وسوف تمر آلاف من السنين المتتالية ، حيث تؤدى خلالها الاصطدامات الناجمة بين الجسيمات فى التكثف اللهبى ، الى تكوين اجسام مفلطحة ، تصل ابعادها الى عشرات او مئات الكيلومترات . ويتكون من القرص (الجسم المفلطح) ، عدد هائل من الاجسام الضخمة نسبيا ، تشبه الكواكب الصغيرة والكويكبات ، التى تملأ الفراغ الموجود بين المريخ والمشترى .

وبدوران هذه الاجسام حول الشمس مليارات السنين ، تصادمت مع بعضها البعض ، وهنا كانت اما تتحطم او تضم اليها الاجسام الاصغر منها حجما وشظايا الاجسام الضخمة .

اما تلك الاجسام التى استطاعت ان تتجنب التحطم ، فقد بدأت بالتطور اسرع من غيرها ، مغترفة المادة المبعثرة فى الفراغ . وبعد ان اصبحت اكبر فاكبر ، بدأت تجذب اليها الجسيمات



المحيطة بها وتستولى عليها بقوة أعظم . ولكن المسألة تحتاج الى فترات زمنية فضائية ، لكى تتم عملية التكثف هذه ، وتظهر الكواكب فى موضع الكتل العديمة الشكل التى لاتحصى : لقد مضت على بدء هذه العملية ، مدة زمنية تساوى حوالى ٥ ملياردات سنة.

وهذه الكتل لم تستطع الاندغام فى كتلة واحدة ، فى المواضع القريبة من اثقل كوكب فقط ــ المشترى ــ وذلك لأن الفعل الاضطرابى الشديد لهذا الكوكب ، لم يسمح لها بذلك . وهنا نجد على الدوام حلقة من الكويكبات حول المشترى .

ان نظرية شميدت قربتنا من فهم الكثير من القوانين الخاصة ببناء وتركيب المنظومة الشمسية . واهم القوانين الرئيسية من بين تلك القوانين ، هى كما يلى :

ان الجذور التربيعية لانصاف اقطار المدارات ، تزداد تقريبا تبعا للمتوالية الحسابية (قانون المسافات الكوكبية) ؛ والمدارات تشبه الى حد كبير المدارات الدائرية ــ وهى عبارة عن اهليلجات

ممطوطة قليلا ؛ ومستويات المدارات قليلة الميل نحو بعضها البعض ونحو مستوى خط الاستواء التابع للشمس . وينتج من هذه النظرية ان كافة الكواكب يجب ان تدور حول الشمس فى نفس الاتجاه الواحد بالذات ، وان كافة الكواكب (ما عدا اوران) تدور فى نفس الاتجاه الواحد حول محاورها بالذات .

واخيرا نجد ان هذه النظرية تساعدنا على التوزيع القريب جدا من الحقيقة ، لكتل وكثافات كواكب المنظومة الشمسية . وفى نفس الوقت الذى تتطور فيه الكواكب ، يجب ان تضغط الجاذبية على الكواكب بصورة اقوى ، مولدة ضغطا هائلا جدا . وعندئذ تبدأ عملية تسخين الكواكب . ولكن درجة الحرارة العالية التى نلاحظها الآن فى بواطن الارض ، ليست ناجمة عن عملية نشوء الارض فقط . ان تراكم الحرارة المتولدة عند انحلال العناصر ذات الفاعلية الاشعاعية (مثل الاورانيوم والثوريوم والراديوم وغيرها) حولت الارض أيضا بصورة تدريجية ، الى بوتقة عملاقة صهرت فيها بتأثير الضغط معادن جديدة ، وظهرت تلك المواد التى تشكلت منها قشرة الارض بعد ان شقت طريقها الى السطح وبردت .

ولكن هذا ليس كل شيء بعد . ان الجسيمات اللهبية عندما اجتمعت فى قرص مسطح فى بداية تطور المنظومة الشمسية ، اصبح ذلك القرص غير شفاف . ولهذا السبب ، توقفت اشعة الشمس عن التوغل الى اطراف القرص . وبذلك نشأت هناك برودة فضائية ، حيث انخفضت درجة الحرارة الى ــ ٢٧٠° مئوية . وفى نفس الوقت ، ادت اشعة الشمس الى التسخين الشديد لاقسام القرص المجاورة للشمس .

ونتيجة لذلك لم يبق بالقرب من الشمس ، سوى الجسيمات المقاومة للصهر على الاغلب ، اما الغازات وبالدرجة الاولى الهيدروجين والهليوم ، فقد تجمدت في القسم البارد من القرص — على اطرافه . وهكذا نجد ان الكواكب البعيدة جدا عن الشمس — مثل المشترى وساتورن — يجب ان تتألف في الاساس من الهيدروجين والهليوم .

اما الكواكب القريبة جدا من الشمس ومن ضمنها ، الارض ، فيجب ان تتألف على عكس الحالة السابقة ، من المواد المقاومة للانصهار . وكان من المحتمل التفكير بان الكواكب اوران ونبتون وبلوتون ، تحتوى على كمية من الهيدروجين اكثر من الكمية الموجودة في ساتورن والمشترى ، ولكن الامر ليس كذلك . ان عملية تكوين التكثفات في داخل السحابة عند طرف المنظومة الشمسية ، جرت بصورة بطيئة ، وذلك لان كثافة المادة هناك كانت قليلة . وقد ادى نشوء عدد كبير من الكويكبات بالقرب من الشمس ، الى زيادة شفافية السحابة ، في اللحظة التي لم يتم فيها بعد تطور هذه العملية في المنطقة البعيدة عن الشمس . وقد ادت اشعة الشمس في هذه الظروف الى التبخر التام للهيدروجين من ذرات الغبار والسطوح ، بالنسبة للجسيمات الضخمة . وقد ادى ذلك الى انخفاض نسبة الهيدروجين في الكواكب البعيدة .

ان هذا كله يستنتج من النظرية . ولكن ما هو الحال بالنسبة للتجربة ؟ هل تؤكد النتائج التي توصل اليها العلماء ام لا ؟ من الصعب بطبيعة الحال ان نحصل على « عينة ترابية » من سطح المشترى . ان هذا الوقت لم يحن بعد . ولكننا يمكن ان نتصرف بطريقة اخرى . اذا عرفنا كتلة وحجم الكوكب ، يمكننا معرفة العناصر الكيميائية التي يحتوى عليها . وتبين الحسابات ان كوكب

المشترى يحتوى على ٨٥ ٪ من الهيدروجين ، اما ساتورن فيحتوى على ٨٠ ٪ من الهيدروجين و ١٨ ٪ من الهليوم . واخيرا ستتوصل الى ان نتائج النظرية صحيحة ، وان الكواكب العملاقة البعيدة ، تتألف بالفعل من عناصر خفيفة ، وعلى الاغلب من الهيدروجين .

ونأمل ان لا يحصل لدى القارىء انطباع بان كل شيء قد اصبح واضحا ولم تبق هناك أية مشاكل او مسائل اخرى . ولكن مازال الكثير منها أيضا ، غامضا ومحيرا ! وهذا الامر لا يتعلق ببعض التفاصيل المعينة فحسب ، بل يتعلق ايضا بالمسائل المبدئية بالذات . وليتذكر القارىء على الاقل ، نفس السؤال المتعلق بتاريخ نشوء المنظومة الكوكبية ، اى منظومة الكواكب السيارة . واستنادا الى المراقبات العلمية ، نجد ان حصة الاسد من كتلة المنظومة الشمسية ، قد تركزت فى الشمس بالذات ، وتبلغ ٩٩,٨٧ ٪ ، اما عزم دوران الشمس حول محورها الذاتى ، فلا يؤلف الا مايزيد على ٢ ٪ من عزم دوران المنظومة الشمسية برمتها . ومن السهل الحصول على مثل هذا التوزيع للعزوم ، استنادا الى نظرية شميدت ، ولكن فى هذه الحالة يجب ان يكون للسحابة التى تحتلها الشمس ، عزم دوران هائل جدا . ولكن هل كان مثل هذا العزم موجودا بالفعل ، لدى السحابة المحتلة ام لا؟ وهذا السؤال شرعى ومدغم بالحجج .

ولاتزال هناك اسئلة باقية ، وعددها غير قليل . اما نظرية شميدت بالذات ، فلا تعتبر فى الوقت الحاضر مقبولة لدى الجميع . ولا تزال تعرض باستمرار ، فرضيات علمية حديثة اكثر فاكثر .

الجاذبية على سطح الارض — والآن لنتحدث عما نعرفة .

الانجذاب نحو الارض ... على المرء ان يكون شاعرا ، لكى

يشعر هنا ايضا بروعة الطرافة . لقد اضطر الطيار والشاعر الفرنسى انطوان دى سنت اكزيوبيريه ، الى الهبوط بطائرته فى الصحراء الافريقية ، واستيقظ من غفوته وهو على احدى القمم ، ووجهه نحو النجوم . وقد وصف مشاعره فى تلك الاثناء كما يلى : «لم استطع فى الحال ان ادرك ماهية الاعماق الممتدة امامى، ولم اعثر على جذر انشبث به ، ولم يفصل بينى وبين تلك الاعماق اى سقف او غصن شجرة ، عندئذ شعرت بالدوار ، واحسست بانى قد انفصلت تماما وانى اسقط فى الهاوية .

ولكننى لم اسقط فى اى اتجاه كان . لقد كنت مرتبطا بالارض من قمة رأسى الى اخمص قدمى . واستسلمت لها بكل ثقل جسمى ، وشعرت بهدوء معين ؛ وظهر ان قوة الجاذبية ، هى قوة قادرة على كل شيء ، مثل الحب . واحسست بان الارض تدعمنى ، تسندنى ، ترفعنى وتحملنى الى فضاء ليلى . واكتشفت ان ثقل الجسم يجعلنى التصق مع الارض مثلما يلتصق الجسم مع السيارة عند المنعطفات . واستمتعت بهذا الاسناد وقوته وثباته وشعرت بسطح سفينتى المنحنى تحت ثقل الجسم ...

وشعرت بقوة الجاذبية هذه فى كتفى — متناسقة ، ثابتة ومتساوية الى أبد الآبدين . لقد كنت مرتبطا بالارض الام» .

نعم ، لقد اصبحت الارض أما لنا بفضل الجاذبية فقط . ولو تأملنا فى الدور الذى تلعبه قوى الجاذبية فى حياة كوكبنا الأرضى ، فسوف نكتشف محيطات كاملة . وليس محيطات من الظواهر فحسب ، ولكن محيطات بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة . محيطات مائية ومحيط هوائى . ولولا الجاذبية لما وجدت هذه المحيطات بتاتا .

ان الموجة فى البحر ، حركة كل قطرة ماء فى الانهار التى تصب فى هذا البحر ، كافة التيارات والرياح ومناخ كوكبنا برمته ، كلها تعتمد على سلوك عاملين اساسيين هما : النشاط الشمسى والجاذبية الارضية .

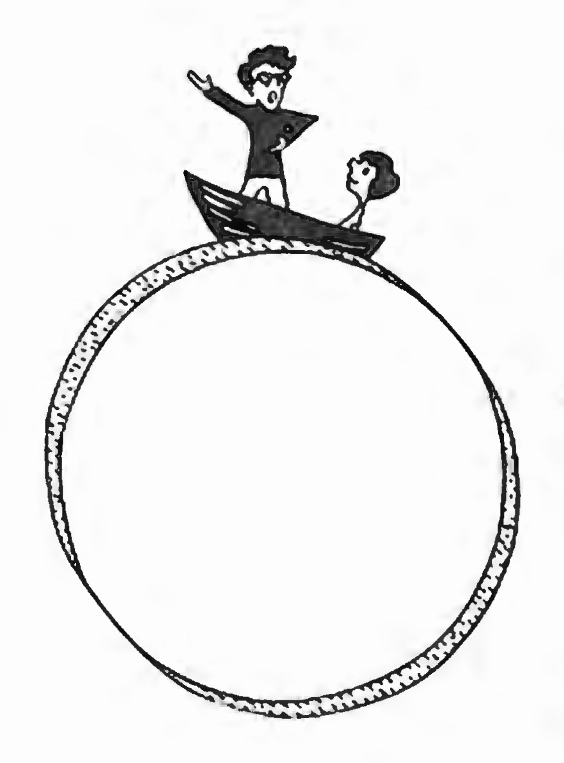
والجاذبية لاتعمل على تثبيت الناس والحيوانات والماء والهواء على سطح الارض فحسب ، بل تضغط عليها أيضا . وهذا الضغط ليس كبيرا جدا عند سطح الارض ، ولكن دوره كبير الاهمية .

ان السبب الذى يمنع السفينة العائمة على سطح البحر من الغرق ، معروف لدى الجميع . انها قوة الطفو او القوة المعومة التى اكتشفها ارخميدس. وهذه القوة لاتظهر الا لسبب واحد ، هو ان الجاذبية تضغط الماء بقوة تزداد بزيادة العمق . وفى داخل السفينة الفضائية المحلقة ، لاتوجد قوة معومة كما ينعدم الوزن أيضا .

والكرة الارضية بالذات مضغوطة بقوى الجاذبية الى ضغوط هائلة . ان قيمة الضغط فى مركز الارض ، تزيد كما يظهر على ثلاثة ملايين ضغط جوى .

وتحت تأثير قوى الضغط المستمرة فى هذه الظروف ، نجد ان كافة المواد التى اعتدنا على اعتبارها صلبة ، تسلك مثل سلوك القطران والراتنج . وتهبط المواد الثقيلة الى القعر (لو امكن تسمية مركز الارض بهذا الاسم) ، اما المواد الخفيفة فتطفو على السطح . وتستمر هذه العملية مليارات السنين . ولم تنته لحد الآن بعد ، كما يتضح من نظرية شميدت . ان تركز المواد الثقيلة فى منطقة مركز الارض ، يزداد بصورة بطيئة .

المد والجزر — والآن كيف تظهر عندنا على سطح الارض جاذبية الشمس واقرب جرم سماوى الينا — اى القمر ؟ ان سكان



سواحل المحيطات وحدهم ، يستطيعون ملاحظة هذه الجاذبية بدون اية اجهزة خاصة .

والشمس تؤثر بنفس الدرجة تقريبا على كافة الاشياء الواقعة على سطح الارض وفي باطنها . ان القوة التي تجذب بها الشمس احد سكان موسكو مثلا ، في منتصف النهار ، عندما يكون على اقرب مسافة من الشمس ، لا تختلف تقريبا عن القوة التي تؤثر عليه في منتصف الليل . هذا مع العلم بان المسافة بين الارض والشمس اكبر بعشرة آلاف مرة من قطر الكرة الارضية ، وزيادة المسافة بمقدار جزء واحد من عشرة آلاف جزء عند دوران الارض حول محورها نصف دورة ، لاتغير عمليا من قوى الجاذبية .

ولهذا السبب ، تكسب الشمس كافة اقسام الكرة الارضية وكافة الاجسام الواقعة على سطحها ، نفس التسارعات المتساوية تقريبا.

وكلمة تقريبا لا تعنى تماما ، ونتيجة لهذا الفرق البسيط ، يظهر المد والجزر فى المحيطات .

ان قوة الجاذبية على ذلك الجزء من سطح الارض ، المقابل للشمس ، تكون اكبر قليلا من الحد اللازم لحركة ذلك الجزء على مدار اهليلجى ، بينما تكون اقل قليلا من ذلك على الوجه المعاكس من سطح الارض . ونتيجة لذلك كما يتضح من قوانين نيوتن الميكانيكية ، تتحدب مياه المحيطات قليلا فى الاتجاه المقابل للشمس ، بينما تنحسر عن سطح الارض فى الوجه المعاكس للشمس . وهنا تنشأ كما يقال ، القوى المحدثة للمد ، التى تعمل على مط الكرة الارضية ، وتعطى سطح المحيطات شكلا شبه المجسم الاهليلجى .

وكلما قلت المسافة بين الاجسام المتبادلة الافعال ، زادت قيمة القوى المحدثة للمد . وهذا هو السبب الذى جعل تأثير القمر على شكل المحيطات العالمية ، اكبر من تأثير الشمس . لقد تحدثنا عن الشمس لسبب واحد فقط ، هو ان الارض تدور حولها ، وهنا من الاسهل علينا ادراك سبب تغير شكل سطح المحيطات .

ولو لا وجود التماسك او التلاصق بين اجزاء الكرة الارضية ، لكانت قد تمزقت بفعل القوى المحدثة للمد .

ومن المحتمل ان يكون هذا الامر قد حدث لاحد الاقمار التابعة لكوكب زحل ، عندما اقترب جدا من هذا الكوكب الكبير . ان تلك الحلقة المؤلفة من شظايا ، والتى تجعل من زحل كوكبا بارزا ، من المحتمل ان تكون حطام ذلك القمر التابع لزحل .

وهكذا نجد ان سطح المحيطات العالمية يشبه المجسم

الاهليلجى ، الذى محوره الكبير يتجه نحو القمر . ان الارض تدور حول محورها بالذات . ولهذا السبب ، تتحرك موجة المد على سطح المحيط ، فى الاتجاه المقابل لدوران الارض . وعند اقترابها من الشاطىء ، يبدأ المد . وفى اماكن معينة يرتفع مستوى سطح الماء الى ١٨ م . ثم تختفى موجة المد ويبدأ الجزر . ان مستوى سطح الماء فى المحيط يتراوح فى المعدل بفترة زمنية قدرها ١٢ ساعة و ٢٥ دقيقة (نصف مدة اليوم القمرى) .

وهذه الصورة البسيطة تتشوه بشدة بالتأثير المحدث للمد الناجم عن الشمس والجارى فى نفس الوقت ، احتكاك الماء ، مقاومة القارات او اليابسة ، تعقد شكل شواطىء المحيطات وقيعانها عند المناطق الساحلية وغير ذلك من بعض التأثيرات الخاصة الاخرى .

والمهم ان موجة المد تعوق دوران الارض .

ولكن تأثيرها قليل جدا فى الحقيقة ، اذ ان اليوم تزداد مدته بمقدار جزء من الالف من الثانية ، فقط كل ١٠٠ سنة . ولكن عند تأثير هذه القوى المعوقة لمدة مليارات السنين ، فانها ستجعل الارض تتجه نحو القمر من نفس الجانب الواحد دائما ، وتصبح مدة اليوم الشتوى مساوية للشهر القمرى . وقد حدث ذلك للقمر بالفعل . ان حركة القمر معوقة الى درجة كبيرة جدا ، بحيث اصبح يتجه نحو الارض من نفس الجانب الواحد دائما .

ولاجل « النظر » الى الجانب الخلفى من القمر ، توجب ارسال سفينة فضائية تدور حوله .

وعندما صاغ نيوتن قانون الجاذبية العامة المشهور ، وضع امام العلم مسألة مهمة للغاية : ما هى الجاذبية ، ما هى طبيعتها وكيف ينتقل الفعل المتبادل بين الاجسام او الكتل المتجاذبة .

ان نيوتن وصف الجاذبية فقط . وقد دعت الضرورة الى ايجاد تفسير لها .

وسوف ننتقل الآن الى الحديث عن النجاح الذى تم التوصل اليه فى هذا المجال .

٤ ــ علم الهندسة والجاذبية

البحث عن وسيط ــ قام العالم الدنمركى العظيم نيلز بور اثناء احدى محاضراته العلمية ، بوصف خواص نظرية الظواهر المغنطيسية الكهربائية ، كخروج منطقى عن نطاق الميكانيكا التقليدية « ملائم لاجل تخفيف التباين بين التأثير عن بعد والتأثير عند التلامس » .

وهذا التباين يكون الشد فى مسألة الجاذبية العامة ، ولو لسبب واحد هو ان المسافات بالذات كثيرا ما تكون هائلة .

وربما ليس فى استطاعة اى شخص كان ان يدرك ماهية الآلية المعقدة لانتقال القوة او الجهد عن طريق السلسلة ، من اليد الى الدلو المسحوب من البئر ، ولكن الشيء المعروف لدى الجميع ، هو انه لو قطعت حلقة واحدة من هذه السلسلة ، لتوقف انتقال القوة من اليد الى الدلو فى الحال .

وهكذا كانت قوى الجاذبية تبدو لمدة طويلة من الزمن ، بمثابة شيء يشبه بالذات سلسلة عجيبة تنقصها حلقة واحدة . ويسمى هذا فى لغة العلم ، بالتأثير البعيد المدى ــ اى التأثير على بعد مسافة معينة بدون وجود اى وسطاء .

ويجب القول مباشرة ، انه بالرغم من « تعود » علماء الفيزياء على التأثير عن بعد بين حين وآخر ، ووصفهم له بانه ملائم ايضا ،

فانهم لم يتقبلوا بتاتا بعد ، وجود تجاذب او تنافر بين جسمين يفصل بينهما فراغ خال تماما (او – وهذا تطرف اقصى – فراغ مملوء باى شيء) . وقد بدأت الابحاث الخاصة بالعثور على وسيط فى حالة الافعال المتبادلة التجاذبية فعليا فى وقت واحد مع ظهور التخمينات الاولى المتعلقة بهذه القوى فى مجال العلم . وقد ادرك نيوتن بالذات ايضا ، العمق الكلى للمسألة الفيزيائية بصورة واضحة تماما .

وقد ظهر على مايبدو، انه لا يمكن سوى التعجب مما بدا من ان نيوتن بصياغته لقانون الجاذبية العامة المشهور كميا ، قد تخلى عمدا عن البحث عن آلية انتقالها (الامر الذى حدا بكثير من المعلقين ، الى اعتبار نيوتن من انصار التأثير البعيد المدى) . ان كلمة «تخلى» هنا لا تعبر عن حقيقة الامر بطبيعة الحال . وهذه الحقيقة تكمن فى الوضعين او السببين التاليين :

اولا ، لم يستطع نيوتن – نظرا لمستوى تقدم العلم فى ذلك الوقت – ان يجد تفسيرا لطبيعة الجاذبية . وقد تطلب ذلك حدوث تطورات عميقة فى العلم ، مثل ظهور مفهوم المجال ، الذى سنتحدث عنه بالتفصيل فيما بعد ، وعلم الديناميكا الكهربائية (Electrodynamic) واخيراً نظرية النسبية (Relativity theory).

والسبب الثانى ، هو سبب غير واضح بصورة جيدة للباحثين فى عصرنا هذا ، بالرغم من انه ربما لعب دورا ليس بالأخير . ويتعلق هذا السبب بالذات بفهم وادراك علم الطبيعة ، اساليبه ومهماته .

وربما يعلم الجميع ، بذلك الصراع الذى بدأ فى القرن السابع عشر ، بين علماء الطبيعة من انصار كارتيزى وانصار نيوتن .

لقد استطاع كل من رينيه ديكارت (كارتيزى) ، جاسيندى ، بيكون ، فيرولامسكى ، هوبس ، لوك وغيرهم من المفكرين والعلماء البارزين فى ذلك العصر — وهذا يجب ان يرتبط قبل كل شيء باسم العالم ديكارت — ان يخطوا خطوة حاسمة الى الامام ، مبتعدين عن الفلسفة الكلامية التى طغت على المجتمع فى القرون الوسطى ، مع محاولتها لتفسير الطبيعة باستخدام كل ما امكن من عبارات « التعاطف » و « الكراهية » ومع محاولتها لتفسير اهداف افكارها بالظواهر . ولكن مهما كانت عظمة اهمية المدرسة الجديدة مع اتحاد الفلسفة وعلم الطبيعة ، المميز لها ، يجب الاعتراف بان العلوم المحضنة بالمعنى العصرى لهذه الكلمة ، كثيرا ما ظهرت الى الوجود خلال الصراع مع هذه المدرسة . ان المضاربات النظرية لديكارت ، بكل ما احتوت عليه من اهمية مشوقة ، كان ينقصها شيء جوهرى واحد — انها ليس فقط لم تعتمد على التجربة العملية ، بل كانت حتى تتعارض مع التجربة الى حد معين . وقد كان هذا السبب بالذات ، هو الذى جعل العالم هيوجنس يدلى بتعليقه الساخر : « يظهر ان ديكارت يريد ان يحل كافة المسائل الفيزيائية ، بغض النظر عما اذا كانت مناقشته صحيحة ام لا » . وتبرز هنا بوضوح علاقة ديكارت بغاليليو ، الذى عتب عليه ديكارت الفرنسي ، لانه اصبح يرمز اليه الآن بعبارة « المذهب التجريبى » . ان غاليليو حسب اعتقاد ديكارت ، لم يبحث الاسباب الاصلية للاشياء ، بل يبحث فقط أسس بعض الظواهر المعينة على انفراد ، لذلك فهو يبنى افكاره دون اساس .
«Hipotheses non fingo» — لقد سار نيوتن على درب غاليليو . وقد كان من الضرورى تطهير العلم من الافكار التى لا تمليها

الطبيعة بالذات على العلماء ، وقطع السلسلة اللانهائية من الفرضيات التى على نمط فلسفة كارتيزى ، والتحول الى دراسة القوانين الحقيقية للطبيعة . واليكم حدث نيوتن كما جاء على لسانه بالضبط .

« ان كل شيء غير ناجم عن الظواهر الطبيعية ، يعتبر بمثابة فرضية . ولا مكان للفرضيات فى الفيزياء التجريبية . وفى الفيزياء التجريبية تستخلص بعض المبادىء من الظواهر الطبيعية المراقبة ويجرى تعميمها بطريقة الاستقراء — «Induction» . ويجب ان نفهم قول نيوتن المأثور «Hipotheses non fingo» — اى « انا لا اضع فرضيّات » على انه بمثابة رفض للمضاربات المجردة لفلسفة كارتيزى بالذات .

ان موقف نيوتن السلبى الشديد من « وضع الفرضيات » ظهر بوضوح ايضا فى المسألة المتعلقة بطبيعة الجاذبية . ولكن من الخطأ تماما القول بان هذا يعتبر بمثابة اعتراف من نيوتن بمبدأ التأثير عن بعد . وبالمناسبة ، نجد ان نيوتن يتحدث بالذات بوضوح تام حول هذا الموضوع فى رسالة بعثها الى العالم بينتل : « اننى اعتبر الفرضية التى تنص على ان الجسم الواقع على مسافة معينة من جسم آخر ، يمكن ان يؤثر على ذلك الجسم عبر الفراغ الخالى دون اى وسيط ، فرضية سخيفة . ولهذا السبب ، يجب ان تنجم الجاذبية عن وسيط ما ، يؤثر باستمرار تبعا لقوانين معينة » .

وقد بقيت المسألة المتعلقة بطبيعة هذا الوسيط ، دون حل . ولم تحلها كافة المناقشات العلمية التى تلت ذلك ، والتى ارتبطت بها اسماء بعض العلماء البارزين مثل يوهان برنولى ، جيوهنس ، ليبنيتس ، دانيل برنولى ، لومونوسوف وايلر .

وفى احد الاوقات ، ظهرت فى الاوساط العلمية نظرية « الدفق »

الساذجة نوعا ما . واستنادا الى هذه النظرية ، تخترق الفضاء من كافة الاتجاهات ، تيارات من المادة (وطبيعة هذه التيارات غير معروفة تماما) . ولو تصورنا وجود جسمين واقعين على مسافة قريبة من بعضهما البعض ، فسوف يحجب كل منهما الآخر ويقيه من التعرض لهذه التيارات . وهنا ستكون التيارات المؤثرة على الجهات الخارجية — وهذا يعنى الضغط ايضا — اكبر قوة من التيارات المؤثرة على الجهات الداخلية المتجاورة للجسمين . وهذا الاختلاف فى الضغوط بالذات ، هو الذى اعتبر تفسيرا للجاذبية العامة . ومن المستبعد ان نعتبر هذا التفسير بجد ، تفسيرا مقبولا . انه لا يدخل فرضيات جوهرية للغاية فحسب ، بل يؤدى مباشرة الى نتائج لا يمكن ادخالها بأى شكل من الاشكال ضمن اية اطر تجريبية او عملية . ان هذه الفرضية ، تتكهن على سبيل المثال ، بوجود ظلال الجاذبية الموهومة او بنشوء فرملة فى حركة الكواكب ، الامر الذى لا وجود له فى الحقيقة بتاتا ، وغير ذلك .

ذوق البشرية الجيد — لقد بحثت مسألة الجاذبية مرة اخرى — من مواقف جديدة من حيث المبدأ فى هذه المرة ايضا — بعد مرور ٢٣٤ سنة على اقرار نيوتن نهائيا لقانون الجاذبية العامة . وللقيام بخطوة جديدة هنا ، اصبح من الضرورى اعادة بحث الافكار الاساسية للغاية — الافكار المتعلقة بالفضاء والزمن . وفى الحقيقة ، كان التقدم فى ادراك طبيعة الجاذبية ، يعنى وضع مبدأ فيزيائى جديد . والآن بعد مرور مدة من الزمن على ذلك ، قد تتولانا الدهشة ، من ان مثل هذا العمل الهائل — وقد كان ذلك بمثابة انقلاب فى علم الفيزياء دون مبالغة — قد امكن انجازه من قبل شخص واحد عمليا . وكان اسم ذلك الشخص هو

البرت اينشتاين . وربما ليس من المبالغة ان نقول بانه لم يحدث بتاتا ان اثارت اية نظرية فيزيائية مثل هذا الاهتمام العارم بل الملتهب ، فى اوسع اوساط العلماء من فيزيائيين وغيرهم ، الذى اثارته نظرية اينشتاين النسبية . وكتب الكثير عن هذه النظرية ، بالاضافة الى ما كتبته المجلات والكتب العلمية . ولم تخل اية صحيفة او مجلة فى العشرينات من القرن الحالى ـ بما فى ذلك مجلات الاطفال ومجلات الازياء ـ من اشارة او خبر عن هذا الحدث العلمى البحت . وفى الحقيقة ، تجدر الاشارة لاجل الانصاف ، الى ان عدد الذين كتبوا عن نظرية النسبية ، كان دائما اكبر بكثير من عدد الذين فهموا هذه النظرية . ولكن حقيقة الاهتمام العظيم لجماهير الشعب بمسائل الجاذبية ، التى لم يفكر فيها احد بالأمس ، هى حقيقة بارزة للغاية بلاشك . ما الذى حدث اذن ؟ مع العلم بان نظرية النسبية العامة التى وضعها اينشتاين (سوف نتحدث عن حقيقة هذه النظرية بالتفصيل فيما بعد) لم تكن لها سابقا وحاضرا ، اية اهمية عملية تطبيقية . ولم تساعد هذه النظرية فى تصميم أية مكنة واحدة ، ولم تطعم او تكس احدا ، ولكن مع ذلك كان الناس يتحدثون ويتناقشون حول اينشتاين ونظريته ، وما زالوا مستمرين فى حديثهم هذا ، اكثر مما يتحدثون عن اى عالم آخر ربما يكون قد فعل اكثر مما فعله اينشتاين بكثير ، لتحقيق حاجات الناس العملية . ان الامر لا يكمن هنا طبعا فى « الموضة » ولا فى الدعاية ولا حتى فى كون نظرية النسبية قد دهشت الناس بجرأتها وتناقضها الظاهرى الموهوم . ويبدو ان الامر الذى له الدور الحاسم هنا ، هو ان نظرية النسبية وسعت الآفاق العلمية الى حد هائل وتناولت اهم المسائل الفلسفية الاساسية

للعلوم الطبيعية ، طارحة على بساط البحث بعض المسائل الجديدة تماما بالنسبة للفيزياء فى ذلك العصر ، مثل مسألة العلاقة بين الفراغ والزمن والمادة . وقد قال الاستاذ انفيلد بهذا الصدد ، ان البشرية اظهرت ذوقا جيدا ، بتقديرها حق التقدير لعظمة ابحاث اينشتاين الخاصة بنظرية النسبية .

بديهيات اقليدس والتجربة — قبل ان ننتقل الى تفسير اينشتاين للجاذبية ، يجب ان نعود الى الوراء لنتعرف على بعض الافكار والمبادىء التى سيتحتم علينا استخدامها فى المستقبل .

ولا بد هنا من الحديث عن علم الهندسة ، وبصورة ادق ، عن الفراغ والزمن . ولكن ما هى علاقة الفراغ والزمن مع الجاذبية ؟ ان بحث الفراغ الطبيعى والزمن بالذات ، هو الذى ساعد اينشتاين على تفهم الجاذبية من وجهة نظر جديدة ، ولكننا سوف لا نسبق الحوادث . هناك قول مأثور رائع للعالم ديكارت : « لاجل معرفة الحقيقة ، يجب علينا ان نشك فى كل شىء مرة واحدة فى الحياة ، قدر الامكان » . ان الشك فى الامر الذى يبدو بديهيا بالذات ، يظهر كما لو كان لا يدعو الى الشك بتاتا ! ان القدرة على اختراق النطاق السحرى لما يسمى بالحقائق الاولية او الاوليّات ، التى غالبا ما تبدو لهذا السبب بالذات ، واضحة بجلاء ، تجعلنا لا نفكر فيها كما يجب .

وعلى مدى قرون عديدة درس تلاميذ كافة اقطار العالم فى دروس الهندسة — ويدرسون الآن كذلك — المجموعة المنظمة لنظريات اقليدس . ان كافة هذه النظريات تنجم منطقيا عن بعض المبادىء البسيطة جدا ، الى الحد الذى جعلها تبدو صحيحة على الاطلاق — وهى المبادىء المعروفة ببديهيات اقليدس الشهيرة .





ان هندسة اقليدس دخلت فى علم الفيزياء باكملها دونما اية تحفظات ، ودون شكوك فى ضرورة التحقيق فى صحتها بالفعل . والفراغ فى مفهوم كل من غاليليو ونيوتن — هو عبارة عن خلفية باردة غير متأثرة بشيء . ان الزمن يمر وكأنه خاضع لحركة ساعة كونية مطلقة من الساعات ، التى تحسب الثوانى للكون برمته ، ولا يمكن للمادة وطبيعة حركتها ان تؤثر على هذه الساعة بتاتا . وقد بدت هذه النظرة الى الفراغ والزمن ، نظرة ثابتة حتى مطلع القرن العشرين .

ولكن هل يمكننا ان نتحقق من صحة بديهيات اقليدس بالذات ؟ هل يمكن على سبيل المثال اختبار مدى صحتها بواسطة التجربة العملية ؟ توجد هنا طريقتان معقولتان للقيام بهذا العمل . وقد يوجد بطبيعة الحال من يعارض مثل هذا الاختبار . ويقول المعارضون انه يجب اعتبار علم الهندسة وفروع كثيرة من علم الرياضيات ايضا ، بمثابة علوم منطقية بحتة ، وعلى هذا الاساس يرفضون مقارنة مبادئها مع التجربة العملية . ان وجهة النظر هذه شرعية تماما فى كافة الحالات ما عدا حالة واحدة فقط ، هى عندما نبحث على وجه الخصوص هندسة الفراغ الطبيعى الحقيقى

« الواقعي » . ولكن الذي يهمنا الآن ، ليس بعض الفراغات « الرياضية » المجردة ، بل الفراغ الحقيقي بالذات . وهذا يعنى ان الكلمة الاخيرة – والحاسمة – هنا متروكة للتجربة . وهذا يعنى الكثير جدا : لان التجربة يمكن أيضا ان « تمتنع » عن حشر نفسها في اطر التصورات التي اعتدنا عليها . وعندئذ تظهر في الحال ضرورة اعادة النظر في الكثير من الامور التي كانت تبدو من غير المشكوك فيها . والتجربة ، حتى لو كان الغرض منها دراسة شيء « غير مادي » مثل الفراغ ، تؤدي في نهاية المطاف الى مراقبة المادة بالذات ، في اشكالها المختلفة . وهذا الامر لابد ان يؤدي تقريبا (وسوف نرى فيما بعد ان كلمة « تقريبا » غير ضرورية هنا) الى تحديد العلاقات بين سلوك المادة من ناحية ، وطبيعة الفراغ من ناحية اخرى . وهذه الكلمات تبدو لاول وهلة خيالية طبعا ، ولكن لو فكرنا مليًا في المسألة ، لوجدنا بان اكثر التصورات التي اعتدنا عليها فيما يتعلق بالفراغ (وبالزمن ايضا) ، مثل وصفه بخلفية ما باردة وغير متأثرة بشيء ، تجري عليها كافة الحوادث ، ستظهر امامنا بمثابة شيء اكثر مدعاة للدهشة والغرابة .

واخيرا يوجد امر آخر أيضا . لو اننا لجأنا الى التجربة ، عندئذ – يجب ان نأخذ في اعتبارنا بوضوح ، انه لا توجد هناك اية تجربة بتاتا ، يمكن أن تعتبر صحيحة بصورة مطلقة . ان الاخطاء (او الهفوات كما يقال بلغة ألطف) التي تصاحب التجربة ، حتى ادق تجربة ، هي امر لابد من حدوثه . وهذه الاخطاء تعود الى عدم اتقان صنع الاجهزة المختبرية ، المؤثرات الطارئة ، واحيانا الى الجوهر الفيزيائي بالذات للظاهرة . ولا يغفل عن ذلك بتاتا في اي بحث فيزيائي . ونحن بدورنا سنأخذ في الاعتبار دائما ، انه

مهما بدت لنا اليوم دقة هذه النظريات او تلك ، وعلى الاخص « الهندسة الفيزيائية » التى سنتحدث عنها فيما يلى ، فهى تتصف بطبيعة تقريبية ، وكل يوم فى المستقبل يمكن ان يدخل عليها تعديلات جوهرية .

هندسة لوباجيفسكى — ان الفكرة القائلة بان هندسة اقليدس ليست الهندسة الوحيدة الممكنة منطقيا ، ظهرت بوضوح دقيق فى القرن الماضى . ويعود الفضل فى وضع اول علم للهندسة ، يختلف عن هندسة اقليدس من حيث مسلماتها ، الى العالم الرياضى الروسى العظيم لوباجيفسكى . (ان علم الهندسة اللااقليدسية ، قد وضع بصورة مستقلة عن ذلك ، من قبل العالم الرياضى المجرى بولياى) . وليس من السهل علينا الآن ، ان نقيم تقييما تاما ، تلك الاصالة العلمية والشجاعة التى كان يجب ان يتحلى بها ذلك العالم الرياضى من مدينة قازان الروسية . ولكن الحقائق هنا واضحة بما فيه الكفاية . ولم يستطع احد من العلماء الذين عاصروا لوباجيفسكى تقييم (او مجرد فهم) افكاره ، سوى عدد لا يزيد على ثلاثة او اربعة من فطاحل علماء الرياضيات فى اوربا . وفى روسيا لم يكن لوباجيفسكى مفهوما الى حد بعيد ، بحيث قيل فى تأبينه على سبيل المثال ، الكثير عن نشاطاته الادارية — ولم تذكر حتى كلمة واحدة عن الهندسة الحديثة التى وضع اسسها . حتى ان رجلا تقدميا من ذلك العصر ، مثل جيرنيتشيفسكى ، كتب رسالة الى ابنه يعارض فيها افكار لوباجيفسكى ، مستعينا فى ذلك مع الاسف ، بالحجج الضيقة الآفاق ، كقوله مثلا ، ان لوباجيفسكى ، كما يعرف كافة سكان قازان ، قد ركب ظهر الخنزير ليس من باب الصدفة ، لذلك ليس هناك شك فى انه مجنون .

ولكن الافكار العلمية العظيمة لا يمكن ان تخمد ، حتى لو بدت فى وقت ظهورها غريبة ومتناقضة . وبالاضافة الى ذلك ، سيصبح الزمن بالذات ، دليلا من الدلائل على صحتها وثباتها . وعند نهاية القرن التاسع ، كانت توجد عدة اشكال من الهندسة اللااقليدسية (وكان من اهم هذه الاشكال بالنسبة للفيزياء فيما بعد ، هندسة ريمان) . ولكن لم تحدث اية دفعة جوهرية ما ، تعيد الحياة الى تلك المواضيع العلمية المنطقية البحتة ، بعد ان تجعلها تحس باختلاجة الواقع الحيوى .

نظرية اينشتاين النسبية الخاصة — لقد كانت هناك حاجة الى تجربة عملية ، تجربة غير عادية يكون فيها علم الهندسة هو موضوع البحث ! وقد فكر العالم جاوس بمثل هذه التجربة ، على انفراد (وفى الخفاء تقريبا ، لانه هيهات ان يكون احد من المحيطين به مستعدا لقبول هذه الفكرة الا على أنها فعل غريب سخيف) ، بقيامه بالتأكد من انه هل يساوى مجموع زوايا المثلث النسبة الثابتة π اى « ط » ام لا . وقد تحدث لوباجيفسكى عن ذلك من قبل . وهكذا ظهرت الى الوجود التجربة التى سددت الضربة الاولى الى الافكار العادية المتعلقة بالفراغ والزمن . ولكن للوهلة الاولى لم تكن لتلك التجربة اية علاقة بعلم الهندسة .

وقد ادت السلسلة الكاملة من التجارب المستقلة والمختلفة الانواع ، الى نتيجة ادهشت الفيزيائيين بتناقضها الظاهرى : مهما كان الاتجاه الذى تحرك فيه الشخص المراقب عند قياسه لسرعة الضوء ، فقد حصل على نفس النتيجة العددية بالذات . وبغض النظر عما اذا كان الشخص واقفا فى مكانه او محاولا اللحاق بشعاع الضوء ، فان سرعة الضوء تكون متساوية على الاطلاق .

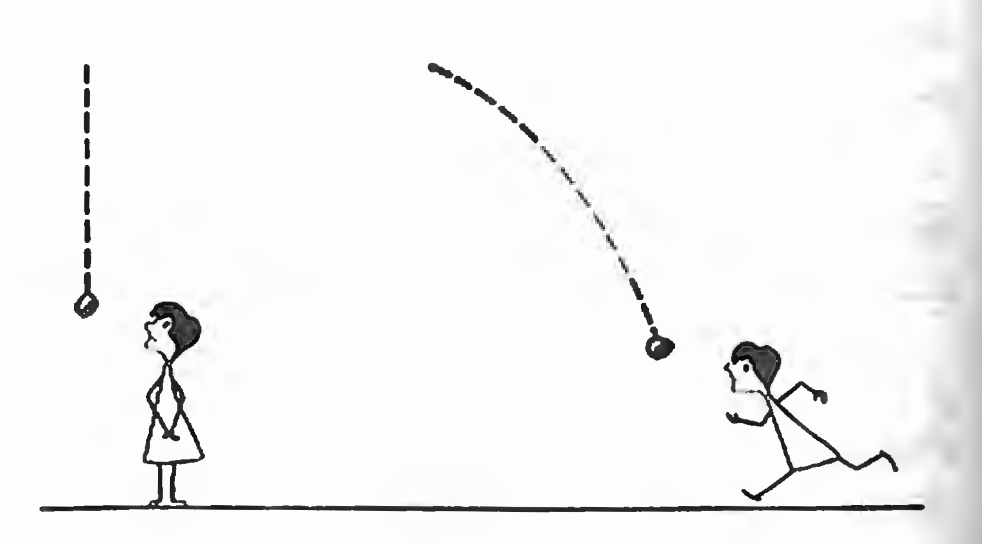
ولا يمكن الهرب من شعاع الضوء ، مثلما لا يمكن الهرب من ظلنا الشخصي على الارض . وسوف تشير اجهزة القياس الى نفس سرعة الضوء الواحدة بالذات ، حتى في حالة انطلاقنا في عكس اتجاه شعاع الضوء .

وهذه الحقيقة لم تدخل بتاتا ضمن تصورات غاليليو — نيوتن ، فقد دلت على ان تلك التصورات تقريبية واملت باصرار ضرورة وضع نظرية جديدة ، يمكنها بطريقة ما ادراك نتيجة التجربة العملية .

وقد قام العالم اينشتاين بخطوة حاسمة في صياغة مثل هذه النظرية الجديدة .

اننا لا نستطيع ان نتحدث بالتفصيل هنا عن « نظرية النسبية الخاصة » . وسوف نحتاج الى بعض نتائجها الموضوعية المعينة . ولكن قبل كل شيء سوف نتحدث باختصار عن النسبية بالذات .

لقد ادرك غاليليو بوضوح نسبية الحركة الميكانيكية . اذ لا يمكن القول ببساطة « ان الجسم يتحرك » . بل يجب ان نذكر



بالنسبة لاية اجسام اخرى تحدد هذه الحركة (ويقول الفيزيائيون : بالنسبة لاى نظام اسناد يتحرك الجسم) .

ان الشكل الخارجي للحركة ، يكون مختلفا طبعا فى مختلف انظمة الاسناد (Reference systems) . ان جدران عربة القطار على سبيل المثال ، تعتبر ساكنة بالنسبة لنظام الاسناد الخاص بالركاب الجالسين فى العربة . بينما تتحرك نفس الجدران بالذات ، فى نظام الاسناد المتعلق بالارض . كما ان مسار الحجر الساقط عموديا ، يكون مختلفا بالنسبة للمراقب الساكن والمراقب السريع الحركة . وهكذا فان السرعة نسبية والطريق الذى يقطعه الجسم نسبيّ والمسار نسبى . ويوجد شيء لا يعتمد على اختيار نظام الاسناد — انها قوانين الحركة بالذات ، قوانين نيوتن . ان هذه القوانين متساوية أو متماثلة تماما * فى كافة انظمة القصور الذاتى (Inertial systems) . وهذا يعنى على سبيل المثال ، انه عندما نكون جالسين فى غرفة مقفلة ، فاننا لانستطيع باية تجارب ميكانيكية كانت ، ان نعرف هل ان الغرفة ساكنة ام انها تتحرك بسرعة منتظمة . ويمكن التعبير عن ذلك بطريقة اخرى بقولنا : ان كافة انظمة القصور الذاتى متماثلة او متساوية . ولا يمكن ان نميّز من بينها نظاما مطلق السكون ، كما لا يمكن العثور على نظام مطلق الحركة .

وقد عمم اينشتاين هذا المبدأ بتطبيقه ليس على الميكانيكا فحسب ، بل على كافة العمليات الاخرى . ان الحقيقة العملية

---

* يمكن على درجة كبيرة من الدقة اعتبار نظام القصور الذاتى ، عبارة عن نظام اسناد معين ، يرتبط مركزه بالشمس ، اما محاوره فتتجه نحو النجوم الساكنة او نحو اى نظام آخر يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لهذا النظام .

لثبات سرعة الضوء ، اعتبرها اينشتاين بمثابة الشرط الاساسى الثانى ، الذى يجب ان تحققه النظرية الجديدة .

وسوف نحتاج فيما بعد الى نتيجة من اهم نتائج نظرية اينشتاين النسبية ، وهى ما تسمى باختصار الاطوال أو المسافات بالذات . ولو قسنا طول قضيب ما فى نظام اسناد معين ، حيث يكون القضيب ساكنا ، وقسناه فى نظام اسناد آخر ، يكون القضيب متحركا بالنسبة اليه (فى الاتجاه الطولى) ، فان الطول الثانى سيكون اقل من الطول الاول . ان الهندسة بالذات تتغير ، ويحدث تغير فى مقياس الاطوال بالذات فى اتجاه الحركة .

وبهذه المناسبة ، نلاحظ ان سير عقارب الساعة يختلف كذلك اختلافا جوهريا فى مختلف انظمة اسناد القصور الذاتى . وتكون حركة العقارب اسرع ما يمكن فى ذلك النظام ، الذى نعتبر العقارب ساكنة بالنسبة اليه . وفى اى نظام آخر ، يمر الزمن بطيئا ويكون ذلك (تماما مثل اختصار الاطوال) محسوسا اكثر ، كلما زاد اقتراب سرعة النظام من سرعة الضوء . وبالمناسبة ، بما ان ميكانيكا غاليليو — نيوتن قد نجمت عن مراقبة حركة الاجسام البطيئة الحركة نسبيا بالذات (التى تتحرك بسرعات تقل كثيرا عن سرعة الضوء ، التى تساوى تقريبا ٣٠٠٠٠٠ كم فى الثانية) فقد اصبح من الممكن الحديث عن الزمن الموحد — المطلق — واهمال اختصار الاطوال .

مبدأ التكافوء — ولكن ما هى العلاقة التى يمكن وجودها بين نسبية الاطوال ومسألة الجاذبية ؟ اننا سوف ننتقل الآن الى هذا السؤال بالذات . هل يتذكر القارىء عبارة « الخواص المدهشة لقوى الجاذبية » التى جاءت فى بداية هذا الفصل ؟

ان الكتلة الثقيلة وكتلة القصور الذاتى متساويتان ! وكافة الاجسام بغض النظر عن طبيعتها وكتلتها ، تكتسب تسارعات متساوية تماما بتأثير قوى الجاذبية . ما هو سبب ذلك ؟ وفى الواقع لا يمكن الاستشهاد بالتطابقات الطارئة ــ ان الحقيقة ذاتها خطيرة للغاية . وبالتأمل فى هذه المسألة ، لفت اينشتاين الانتباه الى امر كان بطبيعة الحال معروفا جيدا لدى كافة علماء الفيزياء منذ زمن بعيد ، ولكن لم يخطر ببال اى منهم ان يربط ذلك الامر مع الجاذبية . ولكى يفهم القارىء حقيقة الامر هنا ، ليتصور انه موجود فى داخل كابينة (قمرة) سفينة فضائية تجوب الكون بحرية (بعد اطفاء محركاتها) . وحلت الآن حالة انعدام الوزن . ويبدو الامر برمته وكأن الجاذبية معدومة تماما بصورة عامة . ان البندول يجمد ساكنا فى وضع مائل ، وقطرة الماء الكروية الكبيرة المسكوبة من القدح ، تتعلق فى الهواء وقد جمدت الى جانبها بسكون كافة الاشياء الاخرى وكأنها معلقة فى خيوط خفية ، بغض النظر عن كتلتها وشكلها . وهنا يدفع القارىء سنجة حديدية فيجدها تطير بسلاسة عبر فضاء الكابينة . ولولا مقاومة الهواء ، لكانت حركتها لتنتظمة بصورة مطلقة .

وليلاحظ القارىء ان كل ذلك لا يتطلب بتاتا ان تكون السفينة الفضائية بالذات ، بعيدة عن النجوم والكواكب ، بحيث لا يمتد اليها تأثير جاذبيتها . وانعدام الوزن يظهر على سبيل المثال ، فى كافة السفن الفضائية التى تقوم بالتحليق حول الكرة الارضية . ومن الواضح تماما ان هذه السفن الفضائية تقع ضمن نطاق تأثير نفس قوى الجاذبية تقريبا ، الموجودة على سطح الارض . اما رجل الفضاء فانه لا يحس بهذه القوى ، للسبب التالى البسيط



نوعاما : ان حركة السفينة الفضائية تتألف من حركة منتظمة فى الاتجاه الافقى وسقوط تسارعى فى الاتجاه العمودى على مركز الارض . وقد تحدثنا سابقا عن استحالة ملاحظة الحركة المنتظمة فى سلوك الاشياء الموجودة فى داخل الكابينة . اما فيما يتعلق بالسقوط ، فنجد ان كافة الاشياء الموجودة فى داخل الكابينة ، تسقط فعلا بتأثير الجاذبية الارضية . ولكننا نذكر القارىء بانها تسقط بتسارع متساو تماما . وبنفس هذا التسارع أيضا ، تسقط ارضية وجدران وسقف الكابينة .

واذا سقط رجل الفضاء لمسافة متر واحد ، فان المقعد سيهبط من تحته لمسافة متر واحد ايضا . وتنيجة لذلك يمكنه ان يتعلق بحرية فوق المقعد . وبعبارة اخرى ، فان قوى الجاذبية التى تظهر بوضوح فى نظام الاسناد المرتبط بالارض ، تختفى عند الانتقال الى نظام حر للسقوط (ولكنها بطبيعة الحال لا تختفى من كافة الفراغ المحيط بالارض فى وقت واحد ، بل فى الفراغ المحدود الموجود فى داخل الكابينة *) .

---

* من غير الصحيح ان نفكر بان جدران الكابينة هنا تلعب دورا ما من ادوار حدود الجاذبية . ان ابعاد المنطقة التى لا تشعر فيها بتاثير الجاذبية لا تحدد بابعاد

ان استخدامنا لكلمة « تختفى » هنا ، ليس من قبيل الصدفة . وبالفعل ، مهما كانت التجربة التى اجريناها ومهما كان نوع الاجهزة التى استخدمناها والظاهرة التى بحثناها ، فلن نستطيع العثور حتى على علامات لوجود الجاذبية ، عندما نكون فى داخل الكابينة المقفلة الساقطة (غالبا ما يتحدث علماء الفيزياء عن « المصعد الهابط » اقتداء بالعالم اينشتاين) .

ونلاحظ بصورة عابرة ، اننا نتقابل باستمرار مع هذه الظاهرة ، حتى ونحن غير جالسين فى كابينة السفينة الفضائية . ذلك لان كرتنا الارضية تعتبر أيضا بمثابة سائح فضائى هائل ، فهى مع كل من يقطنها تتحرك بتوجيه من جاذبية الشمس . اما نحن فلا نشعر بهذه الجاذبية . والسبب هو ليس قلة التأثير ، بل هو ايضا من جديد ذلك الواقع الذى بموجبه تعتبر حركة الارض على مدارها فى الحقيقة ، حركة سقوط مستمر* .

وعمليات المد وحدها ، التى تحدثنا عنها سابقا ، تعتبر بمثابة تذكير ماثل باستمرار ، عن الجاذبية من ناحية الشمس والقمر .

ويبرز السؤال التالى بعد كل ما تحدثنا به اعلاه : لو استطعنا ازالة قوى الجاذبية نتيجة للانتقال الى نظام اسناد معجل السرعة ، الا يمكننا ان نخلق تلك القوى بنفس الطريقة بالذات ؟ يبدو

الكابينة ، بل بالمسافات التى يمكن ان نضع على امتدادها اى جسم من الاجسام ، دون ملاحظة اية تغيرات تطرأ على قوى الجاذبية من حيث القيمة والاتجاه .

* ان حركة السفن الفضائية والاقمار الصناعية حول الارض وحركة الارض حول الشمس ، لا تشبه السقوط البسيط من حيث التفاصيل غير الجوهرية . وفى الحالة الاخيرة تكون الحركة فى اتجاه مستقيم . ويمكن الكشف عن هذا الاختلاف بواسطة تجربة تجرى فى داخل الكابينة .

من ناحية ان هذا الامر ممكن . وعلى سبيل المثال ، اذا قام ميكانيكى سفينة الفضاء الكونية فى المستقبل ، بضبط المحرك بطريقة تجعل السرعة تزيد فى كل ثانية بمقدار عشرة امتار فى الثانية الواحدة على سبيل المثال، فسوف يصبح طاقم السفينة واقعا تحت نفس ظروف الجاذبية ، التى يتعرض لها كافة سكان الارض بالضبط . ولكن من ناحية اخرى ، تظهر شكوك بصورة عفوية . وهكذا يبدو اننا امام شىء ما بديل للجاذبية . ولكن اى شىء مقلد أو بديل ، مهما كانت درجة اتقانة ، لابد وان يتميّز بشىء ما عن الشىء الحقيقى ، اما فى حالتنا هذه فلا توجد اية اختلافات او تمييزات بتاتا بكل معنى الكلمة ، فى اى شىء من الاشياء . ذلك لأن الخاصية الاساسية لقوى الجاذبية ، تكمن فى انها تكسب كافة الاجسام تسارعا متساويا تماما . وهذه الخاصية تتوفر فى النظام المتسارع الحركة ، بصورة تلقائية اذا صح التعبير. ومن وجهة نظر مثل هذا النظام ، تظهر لدى كافة الاجسام تسارعات متساوية اضافية ، مساوية فى المقدار ومعاكسة فى الاتجاه لذلك التسارع الذى اكتسبه هذا النظام بالذات من وجهة نظر انظمة المقصور الذاتى .

وهكذا اذا وزنا كافة الظروف ، فسوف نقتنع بانه من الممكن ان نتجرأ على تأكيد الحقيقة التالية المهمة للغاية : فى كل منطقة صغيرة * من الفراغ ، لا يمكن باية تجارب فيزيائية على الاطلاق ،

---

* ان منطقة الفراغ تعتبر هنا صغيرة ، اذا لم يتغير تأثير الجاذبية عند تحرك الجسم ضمن تلك المنطقة . ومن الواضح مثلا ، ان القاعة الواسعة للغاية لقصر الالعاب الرياضية فى موسكو ، تعتبر من وجهة النظر هذه ، منطقة صغيرة بما فيه الكفاية ،

ان نميز حركة الاجسام الناجمة عن تأثير قوى الجاذبية ، عن حركتها المناظرة الاسلوب ، الناجمة عن نظام متسارع يتم اختياره . او القول باختصار اكثر : ان الجاذبية فى كل نقطة من الفراغ ، تكافىء بطريقة مناظرة التسارع المختار لنظام الاسناد . والتكافوء فى مفهوم اينشتاين ، لا يشمل الحركات الميكانيكية فحسب ، بل يشمل كذلك كافة العمليات الاخرى بصورة عامة .

وهكذا نكون قد وصلنا الى مبدأ التكافوء المشهور لاينشتاين ، الذى يعتبر من اهم الفرضيات الراسخة فى النظرية الحديثة ـ ذلك المبدأ الذى كما سنقتنع الآن ، سيؤدى الى اقرار اوثق علاقة ممكنة بين الجاذبية والهندسة .

في مجال الجاذبية لا توجد هندسة اقليدسية ـ ان الحاجة الى مثل هذه العلاقة ضرورية بصورة واضحة ، ولو استنادا الى المناقشة البسيطة التالية : فى الهندسة الاقليدسية التى اعتدنا عليها (التى تسمى بالهندسة « المستوية » لاسباب سوف ندركها فيما بعد (نجد ان النسبة بين محيط الدائرة وقطرها ، تساوى « ط » (او π) اى النسبة الثابتة (ط = ٣,١٤) . ويمكن الحصول عليها بتقسيم عدد من القضبان الصغيرة جدا ، الموضوعة بالترتيب حول محيط دائرة ، على عدد القضبان الموضوعة على امتداد قطر تلك الدائرة . ولنرى الآن ماذا تساوى هذه النسبة من وجهة نظر نظام الاسناد الذى يدور مع الدائرة فى نفس الوقت . ولنفرض بان القائم بالتجربة فى نظام الاسناد هذا ، بدأ بترتيب نفس تلك

مع تحفظ كبير فى دقة الكلام . وفى نفس الوقت لا يمكن اعتبار الارض برمتها بمثابة منطقة صغيرة ـ لا يمكن هنا تجاهل تغيرات قوى الجاذبية من حيث المقدار والاتجاه .

القضبان على امتداد المحيط والقطر . ويمكن الآن اقرار النتيجة التى سيتوصل اليها ذلك الشخص ، بالنظر الى عملية القياس هذه من وجهة نظر نظام القصور الذاتى . واستنادا الى نظرية النسبية ، يجب ان يتقلص طول كل قضيب موضوع على محيط الدائرة ، فى الوقت الذى لايجب ان تتعرض فيه للتقلص ، القضبان الموضوعة على امتداد القطر . ذلك لان اتجاهاتها عمودية على سرعة الحركة . وهذا يعنى ان القائم بالتجربة المتحرك ، سيضع على محيط الدائرة ، عددا من القضبان اكبر مما سيضعه الشخص الساكن ، بينما سيضع على امتداد المحيط ، نفس العدد المتساوى بالذات . ولذلك ستصبح نسبة محيط الدائرة الى قطرها فى نظام الاسناد المتحرك ، اكبر من « ط » . ولكن هذا لا يمكن الا فى حالة تغير الهندسة بالذات ، واذا قطعت علاقتها بالهندسة الاقليدسية ! والشيء المهم جدا هنا ، هو ان طابع الهندسة الجديدة ، يتحدد بنفس المدلول ، بذلك التسارع الذى تتحرك به النقاط المستقلة لنظام الاسناد .

ونقوم الآن بخطوة اخرى الى الامام ، نكون بعدها قد وصلنا الى الهدف . اننا بقبولنا لمبدأ التكافوء ، نكون بذلك قد وافقنا على ان كافة النتائج التى سنحصل عليها فى الانظمة المتسارعة الحركة ، ستكون مطابقة للنتائج التى سنحصل عليها فى انظمة القصور الذاتى عند وجود الجاذبية . ولكن اذا كان الامر على هذه الشاكلة ، يمكن عندئذ اعتبار الجاذبية بالذات ، على أنها شذوذ عن الهندسة الاقليدسية « انحناء الفراغ » كما سنتكلم عن ذلك فيما بعد لاجل الاختصار .

ولعل النتيجة التالية ، التى تم التوصل اليها هى اكثر مدعاة

للدهشة من بين كافة النتائج التى توصل اليها علم الفيزياء على مدى وجوده برمته : ان الجاذبية مرتبطة بانحناء الفراغ ! ودور ذلك الوسيط الذى تحدث عنه نيوتن فى زمانه ، والذى ربطه اتباع العالم كورتيزى بالاعاصير الغامضة الموجودة بين الاجسام ، يعود كما يظهر الى خواص الفراغ بالذات والى شكله الهندسى او هندسته .

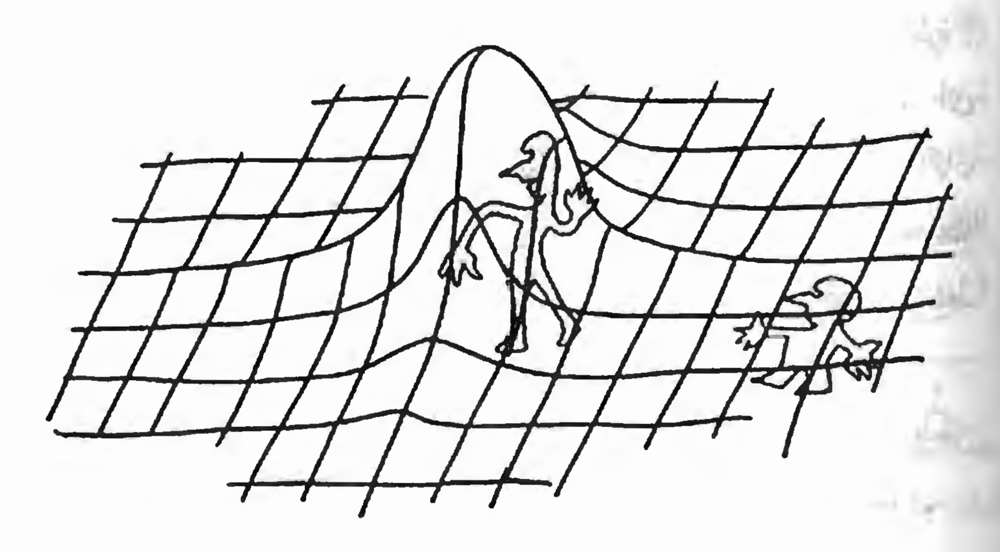
ولنحاول الآن باتخاذ ابسط النماذج ، ان ندخل على هذه النتيجة المجردة والمعقدة للغاية ، ولو عنصرا معينا من عناصر الوضوح .

هندسة المخلوقات الثنائية الابعاد – ليتصور القارىء وجود شريط مطاطى متمدد مرسوم عليه شبكة . وهذه الشبكة سوف تلعب هنا دور شبكة الاحداثيات . وهذا الشريط هو نموذج للفراغ (ولكن ببعدين فقط وليس بثلاثة ابعاد) الذى له خواص اقليدسية . ولو تصورنا ان هناك من يقطن هذه الشبكة من المخلوقات الخيالية ذات البعدين ، والتى تتمتع بالاضافة الى ذلك بقوة مدركة ، فيجب ان يظهر من بينها عاجلا ام آجلا اقليدس خاص بها ، يقوم بصياغة مبادىء الهندسة ، التى ستكون مشابهة تماما للهندسة الاقليدسية المستوية العادية .

ونقوم الآن بالضغط باصبعنا على قسم ما من اقسام هذا الشريط . عندئذ سيتمدد ذلك القسم وتتغير الزوايا بين الخطوط ، وتصبح النسبة بين طول محيط الدائرة وقطرها ، لا تساوى ط ، ويصبح مجموع زوايا المثلث مختلفا عن ط – وبعبارة مختصرة سيحدث هنا امر يجب ان تفسره علوم الهندسة الثنائية الابعاد ، بانه مخالف للهندسة الاقليدسية وانه انحناء للفراغ . وليلاحظ القارىء ان كافة هذه الظواهر تنعكس بدرجة تزداد شدة كلما

اقترب قسم الشريط المذكور من الجسم المثير للتهيّج – اى كلما اقترب القسم فى مثالنا هذا ، من الاصبع الضاغط على الشريط . وربما تجرنا الغواية الى الاستمرار فى التشبيه بالشريط المطاطى الى حد ابعد . وبالفعل ، ما الذى يمنعنا من مقارنة تأثير الاصبع الضاغط على الشريط ، بتأثير الكتل التى تولد الجاذبية . والاكثر من ذلك ، نجد انه نتيجة لضغط الاصبع على موضع واحد من الشريط ، تظهر فى كافة المواضيع الاخرى توترات مرنة مناظرة ، نود كثيرا مقارنتها بقوى الجاذبية (انها بهذه المناسبة تقل أيضا بزيادة المسافة ، مثل قوى الجاذبية تقريبا) . ولكن لا يجوز اعتبار هذا التشبيه عميقا جدا . ان التشابه يبدأ وينتهى من الناحية الهندسية الخالصة للمسألة .

ما هو الخط المستقيم ؟ – يمكن الوصول الى ضرورة ربط الهندسة بالجاذبية ، من الطرف الآخر أيضا . توجد ضمن بديهيات اقليدس ، بديهية تنص على ما يلى : لا يمكن ان نمد اكثر من خط مستقيم واحد فقط بين نقطتين . وهذه البديهية تعتبر واحدة من تلك الحقائق البسيطة ، التى سنحاول نحن ايضا ، على اثر ديكارت ،



ان نشكك فيها . الخط المستقيم .. لنتأمل الآن ما هو الخط المستقيم على وجه الخصوص ؟

سيكون من السذاجة طبعا القول بان الخط المستقيم هو الخط المرسوم بالمسطرة . اذ يجب علينا ايضا ان نتأكد بطريقة ما من عدم انحناء او اعوجاج المسطرة بالذات .

وربما يتذكر بعض القراء بان الخط المستقيم ، هو اقصر مسافة بين نقطتين . ولكن يجب عليهم فى الحال ، ان يفكروا فى كيفية قياس المسافات على وجه الخصوص . لاجل القيام بذلك سنحتاج ايضا الى مسطرة ، ويجب ان تكون مسطرة مستقيمة . وهكذا نجد انفسنا فى حلقة مفرغة .

لقد كان فى الامكان بطبيعة الحال ، ان نحاول الحديث عن الخيوط المشدودة . وليس من العبث يقال « ... مستقيم مثل الوتر » . ولكن هذا سيقودنا الى ادغال مسائل نظرية المرونة ، التى من الافضل لنا ان نبتعد عنها .

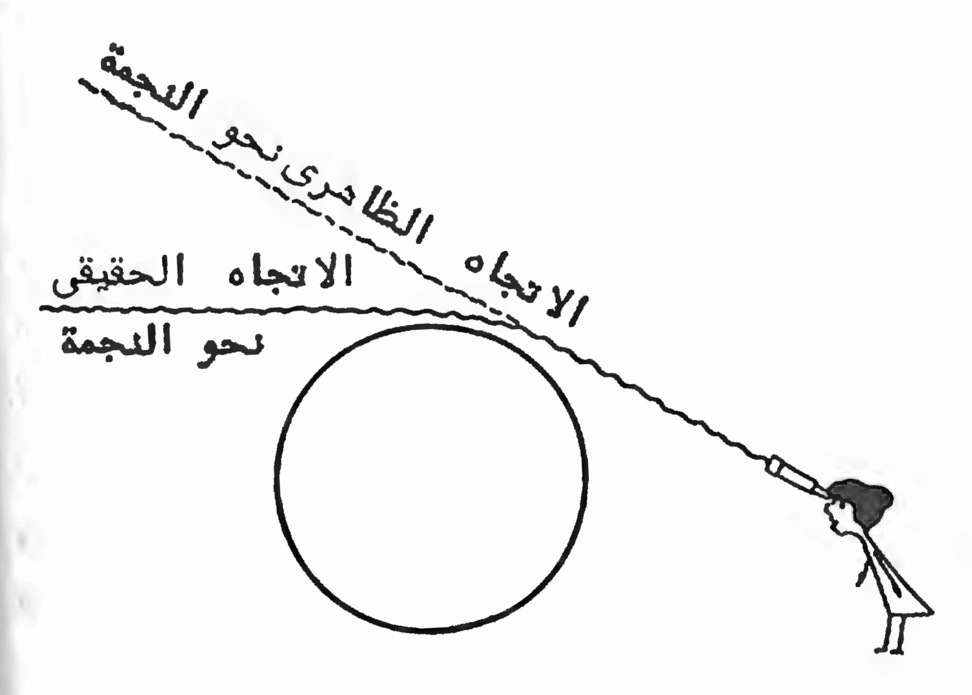
وتوجد طريقة اخرى — سهلة جدا — لتحديد المستقيمات . ان البشرية تستخدم منذ قديم الزمان ، اشعة الضوء بمثابة مستقيمات مثالية . ما الذى يجب ان نفعله للتأكد من عدم انحناء المسطرة ؟ اننا نقربها من عينينا وننظر على امتداد حافتها اوضلعها ، اى نقارن ضلع المسطرة مع شعاع الضوء . وفى الواقع ، مهما كان مجال استخدام الهندسة فى التطبيقات العملية ، وهذا ما يحدث فى كل مكان تماما ، يتم تطبيق هذا المبدأ . وهذا المبدأ بسيط جدا الى درجة لا تدعونا الى التأمل فيه .

هل هو حقا بسيط ؟ بالطبع بسيط كطريقة عملية . ولكن وراء كلمة بسيط هذه ، تكمن فكرة فيزيائية عميقة جدا .

ولاجل استخدام معيار ما ، يجب ان نكون متأكدين من عدم وقوعه تحت تأثير الوسط المحيط به ، ومن انه مستقر . وقد بين التحليل النظرى العميق الشامل ، بان شعاع الضوء يتميز بمثل هذا الاستقرار الى درجة عالية للغاية : انه لا يتعرض الى اية مؤثرات خارجية * وبالمناسبة ان هذا القول لا يعتبر صحيحا تماما ، لان هناك قوة واحدة تؤثر على الضوء ايضا . وهذه القوة هى قوة الجاذبية كما هو معروف . نعم ، ان قوة الجاذبية العامة تثبت وجودها مرة اخرى : لقد ثبت الآن بالتجارب المباشرة ، ان الجاذبية تؤثر على الضوء .

انحناء اشعة الضوء - ان علماء الفلك عندما يراقبون النجوم ، فانهم يحددون مواقعها بدقة فى القبة السماوية الزرقاء ، ويضعونها على خارطة النجوم . وليس من العبث ان توصف النجوم بانها ساكنة . ان خارطة النجوم التى وضعت قبل مائة سنة ، تطابق الخارطة الحديثة الى درجة عالية من الدقة . والظاهر ان الجميع قد اعتاد على ذلك . ولكن اينشتاين طلع على العالم بنبوءة مدهشة ، حيث قال : اثناء الكسوف الشمسى يجب على كافة النجوم الواقعة بالقرب من قرص الشمس الذى يظلله القمر ، ان تتحرك وكأنها تبتعد عن الشمس . وقد تم اكتشاف هذه الحركة بالفعل . ان التفسير البسيط والواضح لهذه الظاهرة، يبرز فى الحال اذا اعتبرنا ان اشعة الضوء تنحرف نحو الشمس بتأثير الجاذبية . وبالفعل لنفرض ان الشعاع القادم من احدى النجوم الى الارض ، يمر بالقرب من

* ان هذا القول لا يتعارض مع ظاهرة انعكاس وانكسار الموجات الضوئية ، لان هذه العمليات تتلخص فى حالات عديدة من عمليات امتصاصات واشعاعات الموجات . وبين عمليتى الاشعاع والامتصاص لا تتعرض الموجة الضوئية فى الحقيقة الى أية مؤثرات .



الشمس (من الواضح . ان جاذبية الشمس لا تؤثر عليه بصورة محسوسة ، الا على مسافات قليلة) ويتعرض للانحراف . ان المراقب الموجود على سطح الارض ، الذى كان سيرى النجمة فى مركز العدسة العينية فى حالة مرور شعاع الضوء بالقرب من الشمس ، سوف يراها الآن فى مركز المجال البصرى للعدسة العينية ، على ان يحرف التلسكوب قليلا عن الشمس . ان نظرية اينشتاين ، تصف وصفا كميا جيدا ، ونود القول وصفا طبيعيا ايضا ، ظاهرة انحراف الاشعة الضوئية بتأثير الجاذبية ، وتحدد مسبقا زوايا انحراف قريبة جدا من تلك الزوايا التى يقيسها بالفعل علماء الفلك .

ولا نستطيع الدخول الآن فى تفاصيل الحسابات الكمية التى تبرهن على صحة ذلك . ولكن سنحاول ان نبين بانه اذا كان مبدأ اينشتاين للتكافؤ صحيحا ، فان شعاع الضوء يجب ان ينحرف لا محالة . نبدأ الآن بالمقارنة . لنتصور باننا نسافر فى احد القطارات ، والمطر ينهمر من السماء وقطراته ترسم شرائط على زجاج العربة .

واذا كان القطار يتحرك بانتظام ، فان الشرائط ستكون مستقيمة . اما عند تسارع الحركة ، فسوف تتعرج (انحناء !) . وسوف تتعرج او تنحني كافة التيارات الاخرى من وجهة نظر المسافر الذي يسير بسرعة القطار ايضا . والتيارات الضوئية ايضا لا تستثني من هذه القاعدة . ولنتذكر الآن انه طبقا لمبدأ اينشتاين ، يكون التسارع مكافئا لوجود الجاذبية . اذن انحراف الاشعة الضوئية (والاشعة المؤلفة من تيارات الدقائق والجسيمات المختلفة) بتأثير الجاذبية ، هو شيء لابد من حدوثه .

كيف « وزنت » الموجة المغنطيسية الكهربائية — ان التجربة الثانية التي تبرهن تأثير الجاذبية على الضوء ، تتميز بطابع ارضي ومقاييس ارضية تماما . ويعلم القارىء انه لاجل سماع احدى الاذاعات في الراديو ، يجب ضبط الجهاز على موجة تلك الاذاعة . وربما تكون الفكرة التالية قد خطرت ليس ببال الجميع : هل يختل ضبط الراديو على موجة معينة ، اذا ارتفعنا بالجهاز الى جبل عال او نزلنا به الى الوادي ؟ سيجيب القارىء على ذلك بقوله : « طبعا لن يختل الضبط » . ما هو الدور الذي يمكن ان يلعبة مثل هذا الصعود او الهبوط ؟ ان هذا الدور هو كما يلي : لقد تم الضبط في البداية على مستوى واحد ، اما عند رفع الجهاز الى الاعلى ، فسوف تنطلق الموجات المغنطيسية الكهربائية من جهاز الارسال الى جهاز الاستقبال (الراديو) الى الاعلى ، متغلبة على قوى الجاذبية الارضية . وتشير التجربة العملية ، الى ان هذه الموجات ستفقد بالفعل في هذه الحالة طاقة معينة ، وتقل بعد ذلك ذبذبتها في نفس الوقت . وبطبيعة الحال ، يكون الضبط بالنسبة لاجهزة الاستقبال واجهزة الارسال العادية ، تقريبيا جدا بحيث لا يمكن

ملاحظة مثل هذه الظاهرة بوضوح . ولكن تمكن علماء الفيزياء قبل مدة قصيرة ، من اختراع اجهزة استقبال واجهزة ارسال على درجة عالية جدا من الضبط . ولا يظن القارىء هنا ان الحديث يدور حول اجهزة من نوع الأجهزة اللاسلكية العادية ؛ لان كلا من جهازى الاستقبال والارسال فى هذه الحالة كانا عبارة عن بلورات خاصة ، دخلت فى تركيبها الذرات مع نوياتها ، وهى قادرة على اشعاع وامتصاص الموجات المغنطيسية الكهربائية ذات الطاقة العالية جدا ــ التى تسمى بكمات γ (γ - quanta) ذات التردد المثبت بدقة عالية جدا .

وفى التجارب التى قام بها ميوسباويرا ، والتى اجريت طبقا لهذه الخطة ، كان الفرق الذى يساوى عشرة امتار فى مستويات الارتفاع ، كافيا لاكتشاف « تسارع »** الشعاع الهابط الى الاسفل . ان هذه التجارب العالية الدقة للغاية ، تعتبر دليلا مباشرا على ان الضوء له « وزن » وعلى ان الجاذبية تؤثر على الموجات المغنطيسية الكهرسائية ايضا كما تؤثر على كافة انواع المادة الاخرى .

ان الخطوط الطيفية للضوء القادم من النجوم ، تكون منحرفة قليلا نحو الطرف الاحمر للطيف ، ويزداد الاحساس بهذا الانحراف كلما زادت كتلة النجمة التى يتبعث منها الضوء . وهذه فى الحقيقة

---

* الكمات جمع كم ، وهو اصغر مقدار من الطاقة يمكن ان يوجد مستقلا . المترجم .

** بالطبع لا يجوز ان نفهم هذا « التسارع » بالمعنى الميكانيكى العادى للكلمة لان المقصود هنا ليس زيادة سرعة الضوء ــ لان هذه السرعة تكون فى الفراغ (او الهواء ايضا من الناحية العملية) ثابتة تماما ــ بل زيادة الطاقة .

هى نفس تجربة ميوسباويرا بالذات ، ولكن على نطاق كونى فضائى . وهذه التجربة تستخدم احيانا لقياس كتلة النجوم .

وقد تنبأ اينشتاين بوجود هذا التأثير كما تنبأ ايضا بانحناء اشعة الضوء المارة بالقرب من الكتل الجسيمة .

درس فى الهندسة على كوكب خيالى — اما الآن فسوف نقارن كافة الأشياء التى ذكرناها اعلاه . لقد اثبتنا بان احسن معايير الخط المستقيم ، هو الشعاع الضوئى من الفراغ . وفى الوقت نفسه ، فان هذا الشعاع ينحرف او ينحنى اذا شئنا القول ، تحت تأثير الجاذبية — وحدها فقط . وها نحن قد توصلنا من جديد ، ولكن من وجهة نظر اخرى ، الى نفس النتيجة التى توصلنا اليها سابقا . ولكننا تحدثنا عندئذ عن الفراغ المنحنى ، اما الآن فنستخدم تعبير : المستقيمات المنحنية .

ان النتيجة التى توصل اليها اينشتاين حول العلاقة الوثيقة بين الجاذبية وانحناء الفراغ ، اعتبرت فى وقتها نتيجة صاعقة . فقد بدت غير متوقعة وخطيرة للغاية بالنسبة لكل من كان يفكر بامعان فى مسألة الجاذبية . ولكنها ربما كانت قبل كل شىء غير متوقعة وغير عادية .

ولنتذكر من جديد دروس الهندسة المستوية فى المدرسة . ان المدرس لم يذكر اى شىء اثناء ذلك عن الجاذبية . ولم يقل مثلا ، انه فى الامكان رسم مستقيم واحد فقط بين نقطتين ، عند قيمة معينة لقوى الجاذبية ! نعم انه لم يقل ذلك ، ولكن هذا فقط لان هندسة اقليدس نشأت من الممارسات العملية للناس الذين يعيشون على سطح الارض ، حيث يكون تأثير الجاذبية على الهندسة ضئيلا للغاية ، الى درجة انه حتى فى هذه الايام يصعب جدا — يستحيل

تقريبا – ملاحظة اى خطأ فى هذه الهندسة ، باستخدام احدث الاجهزة المتوفرة .

والآن لننتقل ذهنيا الى احد الكواكب (الذى نفرض بانه موجود بالفعل) ، حيث تكون قوة الجاذبية فيه ، اكبر بعشرات الملايين من المرات ، مما هى عليه فى كوكب الارض . ويمكننا الآن ان نفترض بان شعاع الضوء المنبعث بصورة افقية ، لا يمكنه التغلب على الجاذبية ، لذلك سيطوف حول الكوكب بصورة موازية لسطحه كما يفعل القمر الصناعى . ولو اطلقنا العنان لخيالنا الى حد ابعد ، وتصورنا وجود مدارس على ذلك الكوكب ، لوجب على المدرس على اغلب الظن ، ان يقول ما يلى مثلا فى دروس الهندسة المستوية : « ان الضوء يسير على خط مستقيم فى الفراغ . ولنتصور وجود مصباح كاشف (ضوء كاشف) قوى للغاية معلق فوق احد القطبين ويبعث حزمة من الضوء بصورة افقية . ولنفرض عدم وجود تشتت او انكسار او امتصاص للضوء . عندئذ بمرور الاشعة فوق سطح الكوكب ، سوف تصل الى القطب الثانى ، ثم تتجاوزه وتعود – من الناحية الاخرى – الى المصباح الكاشف . وبتدوير المصباح الكاشف او جرفه قليلا ، نحصل على شعاع آخر – مستقيم آخر يمر عبر القطبين معا . ويمكننا الحصول على اى عدد كان من هذه المستقيمات . وهى تشبه جدا خطوط الطول التى تربط بين القطبين . وهكذا ترون أيها التلاميذ ، انه يمكن ان نرسم عددا لانهائيا من المستقيمات بين نقطتين – فى هذه الحالة بين القطبين المذكورين . تذكروا هذه البديهية ، لانها تعتبر من احد المبادىء الاساسية للهندسة . واخبركم الآن ايها التلاميذ ، دون الدخول فى التفاصيل ، بان علماء الرياضيات قد

توصلوا بتفكيرهم الى نوع من الهندسة لا يمكن فيها رسم اكثر من مستقيم واحد فقط بين نقطتين ، ولكن هيهات ان يتم استخدام هذه الفكرة فى اى مجال عملى » .

وبعد ان يتعلم التلاميذ هذا المبدأ ، سيقولون بناء على ما تعلموه ، ان الخطوط المتوازية تلتقى مع بعضها البعض ، وان مجموع زوايا المثلث لا يساوى النسبة الثابتة ط ، وبعد التخرج من المدرسة سوف لايصادفون فى حياتهم العملية اية تناقضات ظاهرية فى علم الهندسة . وكان فى استطاعتنا التحدث اكثر من ذلك عن هذا الكوكب العجيب ، الذى يستطيع كل انسان ، على سبيل المثال ، ان يرى ظهره بالذات دون الحاجة الى مرآة ، ولكن حان الوقت للعودة الى الارض على الارجح . لقد كانت سفرتنا الخيالية هذه ، ذات هدف تعليمى : لقد تأكدنا من جديد بان الشيء الاعتيادى المألوف ، ليس من الضرورى ان يكون عاما وممكنا لوحده فقط . وقد ظهر انه حتى علم الهندسة بالذات ، لا يستثنى من ذلك .

شيء آخر من الشك أيضا — ولم يبق علينا الا ان نضيف شيئا واحدا فقط . كان باستطاعة القارىء المتمعن ان يلاحظ فى كافة مناقشاتنا المتعلقة باشعة الضوء ، وجود عنصر ما من عناصر النزعة التطبيقية الساذجة . ونقول فى معرض الحديث : ان شعاع الضوء عمليا ، يعتبر معيارا للخط المستقيم ، وبما انه ينحنى بتأثير الجاذبية ، اذن تكون الجاذبية بالذات مرتبطة بانحناء الهندسة المستوية . ولكن ألم نشدد هنا بقوة على كلمة « عمليا » ؟

اننا اذا كنا سنعتمد على « الناحية العملية » بهذا الشكل ، يمكن بعد ذلك ان نجد انفسنا قد وقعنا فى حبال اكثر التناقضات

سذاجة . و « عمليا » تعتبر قطعة الارض التى يحف بها بصرنا ، قطعة مسطحة تقريبا . الا اننا لا يمكن ان نستنتج من ذلك بان الارض مسطحة برمتها . و « عمليا » تبدو الملعقة الموضوعة فى قدح الشاى ، مكسورة ، الا اننا تستطيع ، بأخذ انكسار الضوء على الحدود الموجودة بين الماء والهواء فى الاعتبار ، أن نعيد الصورة الى حقيقتها . والآن الا يمكن بطريقة مماثلة ان نحسب ايضا ذلك « الانكسار » الحاصل فى اشعة الضوء نتيجة لتأثير الجاذبية ، ونجرى التصحيحات المناسبة ؟

ولكن ما الذى يعنى اجراء التصحيحات ؟ توجد بعض الوسائل التى تجعلنا نقتنع بان الارض كروية ، وان الملعقة الموضوعة فى قدح الشاى غير مكسورة . وهذه الوسائل تجريبية . مثلا ، لو ارتفعنا الى علو كبير بما فيه الكفاية ، كما فعل رواد الفضاء ، فسوف تصبح كروية الارض ظاهرة للعين من وجهة النظر الجديدة هذه ، ولكن أين هى « وجهة النظر » التى تسمح لنا بفصل الهندسة عن الجاذبية ؟ واية تجربة عملية يمكنها ان تثبت لنا على سبيل المثال ، بان المستقيمات « بالفعل » تبقى مستقيمة ، والفراغ يبقى مستويا ، ولا تنحنى سوى اشعة الضوء ؟ ان مثل هذه التجربة ستحتاج الى معيار مطلق للاستقامة . ولكن لا وجود لهذا المعيار بتاتا !

ولكن حتى هذا هو ليس بيت القصيد . وباستطاعة القارىء المنتبه ان يطرح ايضا السؤال التالى : لنتصور لبرهة ما ، انه لا يوجد على الاطلاق اى معيار للخطوط المستقيمة ، وان كافة المساطر على سطح الارض مثلا ، غير مستقيمة وليس باستطاعتنا تقويمها . ما الذى سيحدث عندئذ ، هل تصبح هندستنا الارضية

نتيجة لذلك ، اقل شبها بالهندسة الاقليدسية ؟ وهل لاننا لانستخدم شبكة الاحداثيات الديكارتية العادية القائمة الزوايا ، ونستخدم شبكة جغرافية منحنية مؤلفة من خطوط العرض والطول ، يتغير مجموع زوايا المثلث بشكل ما ؟ بالطبع لا ! اذن ما المسألة ؟

ان المسألة تكمن ايضا من جديد فى مبدأ التكافوء وليتذكر القارىء مناقشاتنا حول القرص الدوار ، الذى بدأنا به حديثنا* . ان الحقيقة هنا لا تكمن فى ان بعض المستقيمات اصبحت منحنية ، بل فى اختلال العلاقات او النسب الهندسية بالذات : اصبحت نسبة محيط الدائرة الى نصف قطرها ، تختلف عما تنص عليه قوانين الهندسة الاقليدسية . واستنادا الى مبدأ التكافؤ ، يجب ان ينجم نفس التأثير عن قوى الجاذبية العامة (التى تختار بالنسبة للفلك بطبيعة الحال) .

اما انحناء شعاع الضوء ، الذى استخدمناه فى الشرح الايضاحى لماهيّة الهندسة الفيزيائية (الطبيعية) — فهو ليس السبب فى انحناء الهندسة المستوية ، بل هو نتيجة لذلك الانحناء .

« حكاية ادينجتون » — والآن نعود مرة ثانية الى قانون الجاذبية العامة . لقد حنينا الفراغ طويلا ، بحيث يمكن ان يعتقد البعض

---

* لتذكر القارىء هنا بان مثال القرص المذكور ، يساعد كذلك على بيان تأثير الجاذبية على حركة عقارب الساعة . وبالفعل ، كلما زادت المسافة الفاصلة بين الساعة ومركز النظام الدوار ، زادت بذلك سرعة انتقالها ، وهذا يعنى زيادة بطء حركة عقاربها . ولكن من ناحية اخرى سيزداد التسارع ايضا بزيادة المسافة عن المركز . واستنادا الى مبدأ التكافؤ ، يمكننا مباشرة الخروج بالنتيجة التالية : كلما زادت قوة الجاذبية فى الموضع الذى توجد فيه الساعة ، زاد بطء حركة عقاربها . وطبقا لذلك ، يمكننا التحدث عن انحراف الزمن بنفس المعنى الذى نتحدث فيه عن انحراف الفراغ .

باننا قد نسينا الغرض من كل حديثنا السابق . بالطبع لم ننس ذلك . وبالاضافة الى ذلك يعتبر كل حديثنا السابق فى الحقيقة ، بمثابة تفسير جديد للجاذبية .

وهذا يوضح جيدا حكاية العالم الفيزيائى الانجليزى ادينجتون فى كتابه المعنون « الفراغ والزمن والجاذبية » التى نسمح لانفسنا بروايتها للقراء (مع بعض التعليقات التى سترد بين قوسين) :

« فى المحيط الذى له بعدان فقط ، كان يعيش فى وقت ما نوع من السمك المسطح . وقد لوحظ ان السمك عامة كان يعوم فى اتجاهات مستقيمة ، الى ان يصادف فى طريقة حاجزا من الحواجز . وقد كان هذا السلوك يبدو طبيعيا تماما . ولكن المحيط كان يحتوى على منطقة سحرية ، كلما دخلها السمك اصبح مسحورا ، وقد عبر بعضه خلال تلك المنطقة ، لكنه غيّر اتجاهه ، بينما اخذ البعض الآخر يدور باستمرار فى تلك المنطقة . وقد اقترحت سمكة من السمك (مثل ديكارت تقريبا) نظرية الدوّامات ، وقالت بان هذه المنطقة تحتوى على دوامات مائية تضطر كل من يدخلها الى الدوران فيها . وبمرور الزمن ، اقترحت نظرية احدث بكثير من هذه النظرية (نظرية نيوتن) ، وكان مفادها ان السمك كافة ينجذب الى سمكة كبيرة جدا — سمكة كالشمس تقبع فى وسط تلك المنطقة — وهذا هو سبب انحراف طرق السمك ، كما ذكرت النظرية . وفى البداية ظهر ان هذه النظرية ربما تكون غريبة بعض الشىء ، ولكن ثبتت صحتها الى درجة عالية من الدقة ، بعد مختلف المراقبات المتنوعة للغاية . وقد وجد ان كل السمك يملك الخواص الجاذبة هذه ، التى تتناسب طرديا مع حجمه . وقد كان قانون الجذب (المماثل لقانون الجاذبية العامة) بسيطا

للغاية ، ولكنه بالرغم من ذلك ، فسّر كل الحركة بدقة عالية ، لم تصل اليها بتاتا فى السابق دقة الابحاث العلمية . وفى الحقيقة اعلن بعض السمك متبرما ، بانه لا يفهم كيفية حدوث هذا التأثير عن بعد ، ولكن كل السمك كان موافقا على ان هذا التأثير ينتشر بواسطة المحيط ، ويمكن فهمه فى المستقبل بصورة افضل ، عندما تتم دراسة طبيعة الماء على وجه افضل . ولهذا السبب ، ابتدأت كل سمكة تقريبا ، من الاسماك التى ارادت ان تفسر التجاذب ، باقتراح آلية من الآليات التى ينتشر عن طريقها التجاذب (او الجاذبية) عبر الماء . ولكن سمكة واحدة من السمك ، نظرت الى المسألة نظرة مختلفة . فقد لفتت الانتباه الى حقيقة معينة ؛ هى ان الاسماك الكبيرة والصغيرة معا ، كانت تتحرك دائما على نفس الخطوط بالذات ، بالرغم من انه كان من المحتمل ان يبدو بان السمكة الكبيرة تحتاج الى قوة اكبر لحرفها عن طريقها (ان السمكة المشبهة بالشمس زودت كافة الاجسام بنفس التسارعات المتساوية) . لذلك بدأت تدرس بالتفصيل خطوط حركة الاسماك بدلا من دراسة القوى ، وهكذا توصلت الى حل مدهش للمسألة . لقد كان فى العالم هضبة مرتفعة قبعت فيها السمكة التى تشبه الشمس . ولم تستطع بقية الاسماك ملاحظة ذلك ، لأنها كانت مسطحة (ذات بعدين) ؛ ولكن عندما وصلت السمكة اثناء حركتها ، الى سفح تلك الهضبة ، وبالرغم من محاولتها العوم على خط مستقيم ، فقد انحرفت الى الجانب قليلا . (عندما يسير الرحال على السفح الايسر للجبل ، يجب ان يتعمد الانحراف الى اليسار ، اذا اراد الحفاظ على اتجاهه الاصلى طبقا للبوصلة) . وهنا كان يكمن سر الجذب الغامض او انحراف خطوط السير ، الذى كان يحدث فى تلك المنطقة المسحورة .

وبالمناسبة ، لا يوجد بالطبع تماثل تام بين الحديث الذى جاء فى الحكاية وبين الامر الذى يهمنا بالذات ، لان الهضبة المرتفعة التى جاء ذكرها فى الحكاية ، تنتسب الى الفراغ فقط ، فى الوقت الذى يجب ان نتعامل فيه مع « هضبة » فى الفراغ والزمن (لا يمكننا التوقف عند هذا الحديث بالتفصيل) .

ولكن هذه الحكاية ، تبين بأن انحناء او تقوس العالم الذى نعيش فيه ، يمكن ان يعطى تخيلا وهميا لقوة الجاذبية ، ونحن نرى ان التأثير المماثل لتأثير الجاذبية ، هو الشيء الوحيد الذى يمكن ان يبرز فيه مثل هذا الانحناء او التقوس » .

ويمكن صياغة ذلك بصورة مختصرة كما يلى : بما ان الجاذبية تحنى خطوط سير كافة الاجسام بنفس الدرجة تماما ، يمكننا عندئذ اعتبار الجذب بمثابة انحناء الفراغ ـ الزمن . اى ان الجذب هو عبارة عن انحناء الهندسة المستوية .

ويمكن عدم ربط اى شيء بتقوس او انحناء الفراغ ، سوى انحناء خطوط السير الفراغية ـ الزمنية (التى تسمى بالخطوط الكونية *) لكافة الاجسام دون استثناء .

حركة نقطة الذنب فى عطارد ـ لقد اجرينا مناقشات طويلة وتوصلنا بعدها الى مفهوم جوهرى جديد للجاذبية . ومن الطبيعى ان يكون ذلك مهما وخطيرا بحد ذاته . ولكن قد لا يعطينا هذا اى

* يقصد بالخط الكونى ، ذلك المنحنى الذى يبين العلاقة بين احداثيات النقطة المتحركة والزمن . وبالنسبة لابسط انواع الحركة الوحيدة البعد ـ الحركة على امتداد مستقيم فراغى ـ يعبر الخط الكونى عن العلاقة بين الاحداثى الوحيد والزمن ، فى حالة الحركة المنتظمة ، سيكون الخط الكونى مستقيما ، اما عند تسارع الحركة ، فيصبح الخط منحنيا .

شيء هام في الحقيقة ، ويبقى في « النهاية » نفس ذلك القانون القديم الجيد ، قانون نيوتن ؟

ان الامر ليس كذلك بطبيعة الحال . لان الحديث هنا لا يدور حول ادراك الحقائق القديمة فحسب ، بل كذلك حول التعميمات المبدئية والمؤثرات الجديدة . وقد تحدثنا سابقا عن ان نظرية اينشتاين تصف وصفا كميا صحيحا ، ذلك الانحناء الذي تتعرض له اشعة الضوء بتأثير الجاذبية ، وعن تأثير ميسباويرى . ويمكننا ان نذكر ايضا ، ذلك التفسير الناجح لحركة نقاط الذنب في الكواكب ، وخاصة في عطارد . ونعني بذلك ما يلي : ان الحساب طبقا لقوانين نيوتن ، يؤدي الى نتيجة مفادها ان مدارات كافة الكواكب ، يجب ان تكون اهليلجات ، موقعها في الفراغ ثابت لا يتغير . اما الارصاد والمراقبات ، فتبين بأن هذه المدارات تنحرف ببطء . ويبدو ذلك بصورة اكثر وضوحا في كوكب عطارد وهو اقرب كوكب الى الشمس ، ويتعرض تبعا لذلك الى اكبر تأثير الجاذبية . والحساب المبني على نظرية اينشتاين للجاذبية ، يقدم وصفا كميا جيدا لهذه الظاهرة .

موجات الجاذبية — ان كل ما ذكرناه اعلاه ، يتميز اذا اردنا ، بطابع التصحيحات القليلة . ولكن يوجد ايضا شيء جديد مبدئيا ، ينجم عن تفسير اينشتاين للجاذبية . وقبل كل شيء ، يجب ان نشير هنا الى النتيجة الخاصة بوجود حد لسرعة انتشار الجاذبية . وفي قانون نيوتن للجاذبية العامة ، لا يوجد اي شيء حول زمن انتقال الفعل المتبادل . ويفترض بصورة مبهمة ، ان الفعل المتبادل يتم في لمح البصر ، مهما كان طول المسافات الفاصلة بين الاجسام التي تتبادل الفعل فيما بينها . ان مثل هذه

النظرة تعتبر بصورة عامة ، نظرة عادية نموذجية بالنسبة لانصار مبدأ التأثير عن بعد . وينتج من نظرية اينشتاين ان الجاذبية تنتقل من جسم الى آخر بنفس سرعة انتقال الاشارة الضوئية . ولو تحرك احد الاجسام من محله ، فان الانحناء الذى يولده فى الفراغ والزمن ، يتغير ليس فى لمح البصر . وفى البداية يظهر ذلك مباشرة بالقرب من الجسم ، ثم يشمل التغيّر بعد ذلك مناطق ابعد فابعد ، ويستقر فى الفراغ برمته ، توزيع جديد للانحناء ، يتناسب مع الوضع المتغير للجسم .

وهنا نأتى الآن الى المسألة التى اثارت ولازالت تثير اكبر عدد من المناقشات والاختلافات ـ مسألة اشعاعات الجاذبية .

والآن هل يمكن وجود جاذبية ، اذا لم توجد كتلة تخلق تلك الجاذبية ؟ بالطبع لا ، كما ينص على ذلك قانون نيوتن . انه حتى من العبث طرح مثل هذا السؤال هنا . ولكن الشيء الذى اتفقنا عليه توا ، وهو ان اشارات الجاذبية تنتقل ولو بسرعة كبيرة ، الا انها مع ذلك ليست سرعة لانهائية ، يتغيّر جذريا برمته . وبالفعل ، لنتصور بأن الكتلة التى تولد الجاذبية ، وهى كرية على سبيل المثال قد سكنت واستقرت . والآن ستؤثر على كافة الاجسام الواقعة حول هذه الكرية ، قوى نيوتن العادية . نقوم بعد ذلك بابعاد الكرية عن موقعها الاصلى بسرعة هائلة . فى اللحظة الاولى ، سوف لاتشعر الاجسام المحيطة بها ، بهذا التحول ، لان قوى الجاذبية لا تتغير فى لمح البصر . وسوف نحتاج الى زمن ما ، لكى يتسع المجال للتغيرات الحاصلة فى انحناء الفراغ ، لاجل الانتشار فى كافة الاتجاهات . وهذا يعنى بأن الاجسام المحيطة بالكرية ، سوف تشعر لفترة ما بنفس التأثير السابق للكرية ، فى

الوقت الذى اصبحت فيه الكرية غير موجودة (فى موضعها السابق على الاقل) . وهكذا نجد ان انحناء الفراغ * ، يكتسب استقلالا ذاتيا معينا ، بحيث يمكن نزع الجسم من تلك المنطقة المعينة فى الفراغ ، التى احدث فيها تقوسات او انحناءات ، بحيث ان هذه الانحناءات بالذات ، ولو انها تمتد على مسافات كبيرة تبقى وتتطور فى المستقبل طبقا لقوانينها الداخلية وهذه هى الجاذبية الناشئة بدون كتلة مولدة لها ! ولنستمر فى حديثنا اكثر من ذلك . لو جعلنا تلك الكرية تتذبذب ، فانه كما ينجم عن نظرية اينشتاين ، سيظهر على خارطة نيوتن للجاذبية ، تموجّ خفيف — موجات الجاذبية . ولكى نتصوّر هذه الموجات بصورة اوضح ، نعود مرة ثانية الى نموذجنا السابق — الشريط المطاطى . ولو اننا قمنا ليس بضغط الشريط باصبعنا فحسب ، بل واكسبناه حركة تذبذبية ايضا فى نفس الوقت ، فان هذه الذبذبات ستبدأ بالانتقال على الشريط الممطوط ، فى كافة الاتجاهات . وهذا هو الشىء المماثل لموجات الجاذبية . وكلما ابتعدنا عن المصدر ، يزداد ضعف هذه الموجات ، اى تضعف اكثر فاكثر .

والآن نتوقف فى لحظة ما عن الضغط على الشريط . ان الموجات سوف لا تختفى . انها سوف تبقى وتنتقل بصورة مستقلة على الشريط الى مسافة ابعد فابعد ، مؤدية بذلك الى انحناء الهندسة المستوية فى طريقها . وهكذا بالضبط ، تستطيع موجات انحناء الفراغ — موجات الجاذبية — البقاء بصورة ذاتية مستقلة . وقد خرج الكثير من الباحثين ، بمثل هذه النتيجة من نظرية اينشتاين .

---

* وبصورة ادق ، يمكن التحدث فى كل مكان عن انحناء الفراغ — الزمن .

ان كافة هذه التأثيرات ضعيفة جدا بطبيعة الحال . وعلى سبيل المثال ، نجد ان الطاقة المتحررة عند احتراق عود ثقاب واحد ، اكبر بعدة مرات من طاقة موجات الجاذبية التي تشعها منظومتنا الشمسية برمتها ، في نفس المدة الزمنية . ولكن المهم هنا ، ليس الناحية الكمية للمسألة ، بل الناحية المبدئية .

في احد الاوقات ، اهتزت الاوساط العلمية لنبأ مفاده ان الباحث الامريكي ويبير ، تمكن من تسجيل موجات الجاذبية . وكانت اجهزته بسيطة جدا من حيث المبدأ : وضع تحت الارض اسطوانات ثقيلة من الالمنيوم ، بلغ وزن كل منها طنا واحدا تقريبا ، وطولها مترا ونصف . وفكر ويبير في ان موجة الجاذبية اذا اصطدمت بمثل هذه الاسطوانات ، يجب ان تبدأ الاسطوانات بالاهتزاز . ولتجنب التأثيرات الفجائية الطارئة ، ابعدت اسطوانتان من الاسطوانات ، الى مسافة بعيدة جدا عن بعضهما البعض ، واخذت في الاعتبار ذبذباتها المتوافقة فقط . ولكن ويبير ، كما بينّت القياسات الاكثر دقة ، التي اجريت على وجه الخصوص في جامعة موسكو ، لم ينجح كما يظهر ، في التخلص من التأثيرات « الطفيلية » . ان اجهزة استقبال موجات الجاذبية ، لم تصل بعد الى الحساسية اللازمة لذلك .

ان انصار موجات الجاذبية — وهم على ما يظهر الآن يمثلون الاكثرية — يتكهنون بظاهرة مدهشة اخرى : تحول الجاذبية الى جسيمات دقيقة مثل الالكترونات والبوزترونات * (وهي يجب ان تتولد عن الابخرة) ، البروتونات والبروتونات السالبة الشحنة — antiprotons — وغير ذلك (مؤلفات ايفانينكو ، أويلر وغيرهما) .

---

* البوزترون — كهيرب موجب الشحنة — المترجم .

وهذه الظاهرة يجب ان تكون على الشكل التالى : تصل موجة الجاذبية الى منطقة معينة من الفراغ . وفى لحظة محددة تقل هذه الجاذبية بشدة فجأة ، وفى الوقت نفسه ، يظهر فى نفس المكان بالذات ، زوج مؤلف من الكترون وبوزترون ، اى زوج الكترونى بوزترونى على سبيل المثال . ويمكن اعتبار ذلك أيضا ، بمثابة تقلص انحناء الفراغ على هيئة قفزات ، مع ظهور الزوج المذكور فى نفس الوقت .

وتوجد محاولات كثيرة للتعبير عن ذلك بلغة ميكانيكا الكم . ويتم بحث الجسيمات الدقيقة ــ الجرافيتونات * (Gravitons) ــ التى تقارن مع نموذج لاكمى لموجة الجاذبية . ويوجد فى كتب الفيزياء ، مصطلح علمى يتردد امامنا وهو « التحول العنصرى للجرافيتونات الى جسيمات اخرى » ، علما بان التحولات العنصرية ــ التحولات المتبادلة ــ ممكنة الحدوث بين الجرافيتونات واية جسيمات دقيقة اخرى من حيث المبدأ . وذلك لانه لا توجد جسيمات دقيقة ، غير متأثرة بالجاذبية .

ولنفرض بان مثل هذه التحولات قليلة الاحتمال ، اى تحدث بصورة نادرة للغاية ــ وعلى النطاق الفضائى او الكونى ، قد تكون مبدئية .

اما الآن فليس من المعروف بعد ، هل ان هذه الظواهر تحدث بالفعل ام لا .

الكون متناه ولكنه غير محدود ــ عندما ناقشنا اعلاه مسألة التحولات العنصرية الجاذبية للجسيمات ، اشرنا فى حديثنا الى علم

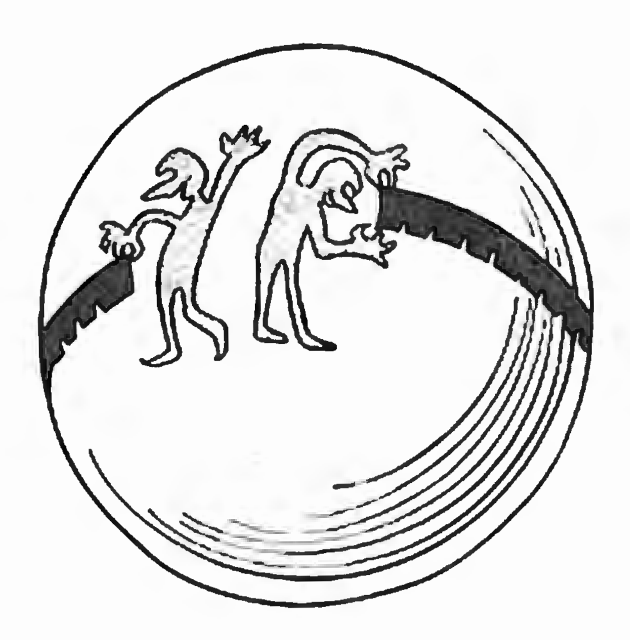
---

* الجرافيتون ــ هو عبارة عن كم الجاذبية (Gravitation quantum) ــ المترجم .

الكونيات (Kosmology) . وهنا لا يجوز ان نهمل الاشارة الى ان نظرية اينشتاين ، اصبحت بمثابة نظرية محفزة لتطور الافكار الخاصة بعلم الكونيات بالذات ، الى درجة خارقة للعادة . والدفعة التى اعطتها النظرية للعلم المذكور ، أوجدت بعض الافكار الخارقة للعادة التى لم تكن موجودة قبل اينشتاين ، وأحيا من جديد اقدم العلوم المتعلقة بالطبيعة ــ علم الكونيات .

الكون .. ماذا نعرف عن الكون ؟ ان كل الاجهزة العلمية المتوفرة لدينا ، تسمح لنا بالتعرف على « خلوة » من خلوات الكون فقط . والآلاف المؤلفة التى لا تحصى من النجوم ، تقع على مسافة هائلة من الارض ، بحيث لا يمكن ان نراها باحدث التلسكوبات البصرية والتلسكوبات اللاسلكية . ولكن التفكير يدعو الباحثين الى التقدم اكثر فاكثر . ما الذى يوجد هناك وراء خط انتهاء الكون ؟ ان التخمينات المبنية على اساس « التصورات العامة » التى تفيد بان كل شيء « هناك » يسير نحو اللانهاية طبقا لقانون « وهلم جرا » اثرت على عقول الناس تأثيرا مهدئا ، ولم تدفع التخيّل دفعة كبيرة جدا الى الامام . وفى عام ١٩١٧ بالذات ، انطلق اعصار فى دنيا العلوم ، حيث تقدم اينشتاين بنظرية الكون المتناهى . « الكون المتناهى ! هل يعنى ذلك وجود حدود معينة للكون ؟ وماذا يوجد هناك فى الجانب الآخر من هذه الحدود ؟ هل « ينتهى الفراغ » هناك ؟ وهل من المعقول أن ... ؟ »

ولنقطع الآن هذا السيل من الاسئلة ، التى انهال الكثير منها على رؤوس علماء الفيزياء . ولنحاول التفكير فيما يعنيه التأكيد بالذات على نهاية الفراغ ، اى وجود حدود للفراغ . وهنا أيضا سنستعين بنموذجنا المؤلف من الشريط المطاطى ذى « المخلوقات



الثنائية البعد » ، الذى استحدثناه فى وقته لايضاح انحناء الفراغ . لقد افترضنا سابقا بصمت ، بأن هذا الشريط ينتشر او يمتد بالعرض الى حدود لانهائية، ولا ينحنى الا فى اماكن معينة، حيث توجد « المادة » ، اى الاجسام التى تخلقها الجاذبية . لقد كان العالم فى نموذجنا هذا « بلاحدود » . ولكن ما الذى سيحدث لو كانت هذه المادة موزعة بصورة منتظمة نوعا ما ؟ عندئذ يجب ان يكون الانحناء — المتساوى ايضا تقريبا — موجودا فى كل مكان . ولكن كيف يمكننا ان نتصور وجود شريط ما ، متساوى الانحناء فى كل جزء من أجزائه ؟ هذا شىء سهل للغاية ، يكفينا ان نتذكر بالون الهواء الصغير الذى يلعب به الاطفال !

وهكذا لنحاول من جديد ان « نحل محل » اولئك الباحثين ذوى البعدين ، الذين جعلتهم مخيلتنا يقطنون الشريط المطاطى المذكور . ان سطح البالون الكروى بالنسبة اليهم ، يمثل الفراغ برمته . وبالفعل لو قام هؤلاء بارسال بعثة استكشافية ، واصدروا اليها امرا صارما بالتحرك دائما على « خط مستقيم » فى نفس

الاتجاه الواحد بالذات (لقد وضعنا عبارة خط مستقيم بين علامتى الاقتباس لنذكر القارىء بان « الخط المستقيم » بالذات ينحنى !) ، عندئذ سنجد بان البعثة المذكورة ، ستعود عاجلا او آجلا ، رغم دهشة منظميها والقائمين بها ، الى نفس نقطة انطلاقها الاصلية ولكن من الجانب الآخر فقط . ويمكن ارسال بعثات اخرى واخرى غيرها ، للقيام بنفس المهمة . ولكن مهما كان اتجاه سيرها او طريقها ، لابد لها بعد قيامها بدورة مقفلة ، ان تعود الى نقطة انطلاقها الاصلية . والآن ما هى النتيجة التى كان يجب ان يتوصل اليها رجال العلم ذوو البعدين ؟ ان النتيجة الوحيدة التى كانوا سيتوصلون اليها ، هى قولهم بان « الكون لا يمتد الى مالانهاية ، بل له حدود معينة . ولكنه فى نفس الوقت غير محدود — لأن اية بعثة من البعثات الاستكشافية المرسلة ، لم تعثر على اى شيء يشبه الحدود الكونية او حدود الكون » . ان الكون متناهى ولكنه غير محدود . بهذه العبارات بالذات ، عرّف اينشتاين الفراغ فى نظريته النسبية . ان معنى هذه العبارات بصورة عامة ، هو نفس المعنى الذى يدل عليه نموذجنا : لو تصورنا سفينة فضائية تحلق على خط مستقيم دائما ، فانها يجب فى نهاية المطاف ان تعود الى نقطة انطلاقها الاصلية (بطبيعة الحال اذا لم يعرقل ذلك اصطدامها بالاجرام السماوية) . ويمكننا التحدث ايضا عن غير السفينة الفضائية ، عن شيء يحدث لاسرع مسافر فى الكون — الشعاع الضوئى . عند حركة الشعاع الضوئى فى الفراغ المنحنى بالجاذبية ، فانه « ينطوى على نفسه » بعد النفاذ خلال مسافات شاسعة من الفراغ اللانهائى ، ولكن المحدود مع ذلك .

الكون المتوسع — ولكن هذا ليس كل شيء بعد : ان نظرية

اينشتاين للجاذبية ، لا تعطينا امكانية التحدث عن محدودية الكون فحسب، بل تقودنا الى نتيجة اكثر مدعاة للدهشة ــ النتيجة الخاصة بتوسع الكون .

ان اول من توصل الى هذه النتيجة ، التي كان يشك فيها اينشتاين بالذات في البداية ، هو العالم الفيزيائي السوفييتي فريدمان .

وتستند نظرية فريدمان الى الفرضية الاساسية التالية : ان الكون برمته متجانس وموحد الخواص . وهذا يعني ان اي جزء من اجزاء الكون الكبيرة ، لا يختلف عن بقية الاجزاء الاخرى من حيث الخواص . وكافة الاتجاهات في الكون ، متكافئة تماما . كما ان معدل كثافة المادة ، هو نفس المعدل في كل مكان من الكون .

وفي هذه الحالة ، نجد ان فرضية تساوي الجاذبية التي وضعها اينشتاين ، تؤدي بصورة متكافئة تماما ، الى نتيجة مفادها ان الكون لا يمكن ان يكون مستقرا . انه يتوسع باستمرار ، بحيث تتفرق كافة مجموعات الكواكب البارزة ــ المجرات ــ مبتعدة عن بعضها البعض . ولنتذكر الآن نموذجنا الثنائي البعد للكون النهائي او المحدود ــ بالون الاطفال . ان هذا البالون الصغير ــ الذي يمثل الكون ــ يزداد انتفاخا باستمرار ، بحيث تزداد المسافات الموجودة بين اية نقاط من نقاطه . وهنا تزداد سرعة زيادة المسافات ، كلما ابتعدت النقاط عن بعضها البعض : لان كل سنتمتر من قطاع المنحنى الواصل بين النقاط ، يزداد ايضا . وربما استطاع الراصدون الثنائيو البعد ، ان يلاحظوا ذلك . ولو نظرنا الى كوكب مبتعد ، فسوف ينحرف طيفه في اتجاه الموجات الطويلة . وتصبح كافة الخطوط « اكثر احمرارا » (تسمى هذه الظاهرة بالانحراف الاحمر ، ويعود سببها الى ظاهرة دوبلر ، ويكون الانحراف اكثر بروزا كلما زادت السرعة) .

والامر الجدير بالذكر للغاية ، هو ان علماء الفلك على سطح الارض ، تمكنوا من اكتشاف مثل هذه الظاهرة .

وقد اثبت عالم الفلك الامريكى هابل ، ان كافة الجزر الكوكبية فى الكون ـ المجرات ـ تبتعد عن مجرتنا . وهنا كلما زاد ابتعاد المجرة عنا ، زاد انحراف الخطوط الطيفية لموجاتها الضوئية ، وزادت بالتالى السرعة النسبية لحركة المجرة . وهذه السرعة س ، تحقق صحة القانون البسيط س = ك م ؛ حيث م تمثل المسافة بيننا وبين المجرة ؛ وك تمثل عدد هابل الثابت ، اى ثابت هابل .

وفى عام ١٩٦٣ تم اكتشاف الكوازارات * (Qasars) الاكثر بعدا عن الارض . والخاصية الرئيسية البارزة للكوازارات ، هى ضيائيتها الهائلة التى تزيد بمئات المرات على ضيائية اسطع المجرات . وبعض الكوازارات المستقلة تبتعد عن مجرتنا بسرعات خيالية تساوى حوالى ٢٤٠٠٠٠ كم/ثانية ، اى حوالى اربعة اخماس سرعة الضوء . وفى هذه الحالة ، تستقبل الاشعة فوق البنفسجية على هيئة ضوء مرئى .

ان قانون هابل ينجم مباشرة عن نظرية فريدمان . وهنا نجد ان ك تتناقص تناقصا عكسيا مع الزمن ، وبالتالى يجب ان تقل سرعة توسع الكون .

وقد انطبق التنبوء النظرى المدهش مع الاكتشاف العملى الرائع . وليس من العجب اذا كان مجال العلم ـ ليس وحده فقط ـ قد اهتز بكل معنى الكلمة ، لحداثة وجرأة آراء اينشتاين ـ فريدمان الخاصة بعلم الكونيات . ان كلمة « انقلاب » تنطبق تماما دونما تحريف ، على كل ماحدث فى هذا المجال .

---

* الكوازار ـ هو عبارة عن نقطة اشعاع راقمة خارج المجرة ـ المترجم .

ماضى ومستقبل الكون – ان الحقيقة القائلة بان الكون فى حالة توسع (او بصورة ادق ذلك الجزء من الكون ، الذى نعيش فيه نحن) – هى حقيقة دامغة . وهى حقيقة تجريبية مباشرة . وهذه هى نفس النتيجة التى تنجم عن النظرية . ولكن ما الذى سيحدث للكون فى المستقبل ؟ وكيف كان عليه فى الماضى ؟ واخيرا هل الكون محدود ام غير محدود فى الواقع ؟

ليست هناك اية اجوبة محددة على هذه الاسئلة ، ولكن يمكن قول الكثير الآن اذا سلمنا بصحة الفرضية التى تنص على تجانس وتوحد خواص الكون .

ولنتحدث قبل كل شىء عن مستقبل الكون . قد يبدو من الغريب ان يكون هنا بالذات قدر اكبر من التحديد . يوجد هنا احتمالان فقط ، وسوف يجرى الحديث عن اختيار احدهما .

استنادا الى النظرية المذكورة ، نجد بان كل شىء يعتمد على العلاقة بين معدل كثافة الكون ث فى لحظة معينة من الزمن ، وكثافة حرجة ($ث_ح$) مقدارها يساوى : $ث_ح = \frac{٣}{٨ط} \times \frac{ك^{٢}}{ج}$

حيث : ك – تمثل ثابت هابل فى تلك اللحظة المعينة من الزمن ؛
ج – ثابت الجاذبية * .

وعندما تكون قيمة ث اقل من قيمة $ث_ح$ ، عندئذ لا يمكن ان يتوقف توسع الكون بتاتا . وسوف تقل سرعة تباعد المجرات باستمرار ، ولكن لا يستبدل هذه التوسع بالانضغاط فى اى وقت من الاوقات ، وسوف تبتعد المجرات عن بعضها البعض بمسافات

---

* فى الواقع تحدد العلاقة بين ث و $ث_ح$ من العلاقة بين طاقتى الكون الحركية والكامنة .

خيالية ، وتصبح جزيرة الكواكب التى نحيا عليها ، ضائعة فى محيط الفراغ اللانهائى .

ولكن اذا كانت قيمة ث اكبر من قيمة $ث_ح$ ، فانه بمرور الزمن سيستبدل توسع الكون بالانضغاط ، ويحل الانحراف البنفسجى محل الانحراف الاحمر . اما متى سيحدث ذلك ، لو قدر له ان يحدث على العموم ، فهذا ما لا يمكن التنبوء به الآن .

وهكذا لكى نعرف مستقبل الكون يجب ان نعرف معدل كثافة المادة فى داخله . ان الكثافة $ث_ح = ٢ × ١٠^{-٢٩}$ جم/$سم^٣$ معروفة لدينا ، ذلك لانه فى الامكان قياس ثابت هابل وثابت الجاذبية بدقة كافية .

وتكمن الصعوبة الاساسية فى تحديد قيمة ث . وهنا يجب ان نعرف مقدار كتلة المادة (كتلة المادة وكتلة الاشعة ايضا) ليس فى الكواكب او النجوم فقط ، بل وكذلك فى كل الفراغ الموجود بين الكواكب فى الجزء المرئى من الكون . والتقديرات التى لدينا الآن ، متناقضة الى درجة كبيرة للغاية . فاستنادا الى بعض المعطيات نجد ان ث اقل من $ث_ح$ ، بينما تبين المعطيات الاخرى بانها اكبر . ولا توجد لحد الآن نتائج نهائية . ان تحديد كثافة مادة (أو نسيج) الكون يلعب دورا هاما للغاية من ناحية اخرى ايضا . والعلاقة بين ث و $ث_ح$ التى يعتمد عليها مستقبل الكون ، تعتبر بمثابة علاقة حاسمة بالنسبة للتركيب الفراغى الكون برمته . وعندما تكون ث اكبر من $ث_ح$ يكون معدل انحناء العالم موجبا ويصبح الكون نهائيا اى محدودا . اما عندما تكون ث اصغر من $ث_ح$ يصبح الكون عندئذ لانهائيا اى غير محدود . وهذا يعنى ان نظرية اينشتاين للجاذبية ، تشير فقط الى ان اعتقادنا

القديم فى لانهائية (عدم محدودية) الكون ، قد لا ينطبق مع الواقع ، ولكنها لا تؤكد بصورة قطعية على ان العالم منطو على نفسه بالذات .

ولنرى الآن ماذا يمكن القول عن ماضى العالم . فى وقت ما كان يجب على الكون ان يكون منضغطا فى حجم صغير جدا . وكانت كثافة مادة الكون فى ذلك الوقت كبيرة الى درجة هائلة لانهائية . ولو اعتبرنا تلك اللحظة من الوقت بمثابة بداية لحساب الزمن (ن = صفر) عندئذ بمعرفة ثابت هابل ، يمكننا تقدير المدة الزمنية لتوسع الكون . وهذه المدة تبدو غير كبيرة نسبيا : انها تساوى ١٦ أو ١٧ مليار سنة فقط لا غير . وهذه المدة غير كبيرة بالنسبة للمقاييس الفلكية .

ما هى الحالة التى كانت عليها مادة الكون فى تلك اللحظة ؟ وكيف نشأ كوننا بكواكبه ومجراته من مثل هذه المادة ذات الكثافة الهائلة . واخيرا ما الذى حدث للكون قبل ذلك التاريخ ؟

لا يوجد الآن اى انسان يمكنه الاجابة على كل هذه الاسئلة بصورة محددة . ولكن مع ذلك توجد فى هذه الحالة ايضا ، اجابات محتملة .

فى حالة الكثافة الهائلة للمادة فى المرحلة الابتدائية للكون ، يتضح بان الجاذبية لم تكن وحدها فقط ، العامل الجوهرى بالضرورة . وكان على بعض القوى الاخرى ان تلعب دورا بارزا فى المسألة . ولهذا السبب ، لا يمكننا التحدث ببعض العبارات عن الفرضيات الموجودة بهذا الصدد ، الا بعد التعرف على تلك القوى .

نشوء المجرات – نتوقف الآن للتحدث عن مسألة نشوء المجرات . من المستبعد ان نشك فى انه فى حالة الكثافة الهائلة

لمادة الكون ، كانت كل من كثافته ودرجة حرارته متساويتين في كافة قطاعات الفراغ . ما الذى ادى الى عدم التجانس الكبير جدا في توزيع المادة في داخل الكون ، والى تكثفه وتحوله الى مجرات وكواكب ؟ توجد الآن حوالى ١٠^١١ من مجموعات الكواكب - المجرات ، تتألف كل منها من مئات المليارات من الكواكب . ان ابعاد المجرات هائلة جدا . وعلى سبيل المثال ، نجد ان مجرتنا عبارة عن تكوين يشبه العدسة المحدبة الوجهين ، التى يبلغ قطرها حوالى ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية وثخنها حوالى ١٠٠٠ سنة ضوئية (ان السنة الضوئية هي عبارة عن تلك المسافة التى يقطعها الضوء خلال سنة واحدة ، وتساوى ١٠^١٣ كم) . والمسافات الموجودة بين المجرات ، تزيد على حجمها بكثير . والمجرات موزعة في السماء بصورة غير منتظمة . وهي عادة تشكل مجموعات يصل قطرها الى ١٠ ملايين سنة ضوئية .

ان اكثر العلماء يظن بان نشوء او تكوين المجرات ، قد حدث نتيجة لتكاثف الجاذبية ، الذى تحدثنا عنه سابقا عند مناقشة نظرية تكوين الكواكب . ولكن نشوء المجرات حدث قبل نشوء الكواكب بوقت طويل ، عند درجة حرارة مختلفة تماما ، ولم يكن مصدرها سحابات الغاز واللهب ، بل الهيدروجين .

وفي المراحل الاولى لتطور الكون ، عندما كانت درجة حرارته تزيد على ٣٠٠٠° مطلقة ، كانت مادته برمتها تتكون في الاساس من الالكترونات ، البروتونات والفوتونات* . وعند مثل درجات الحرارة العالية جدا هذه ، لم تستطع الذرات المحايدة ان تتكون

* الفوتون (Photon) : هو عبارة عن كم ضوئي - المترجم .

وذلك لأن الطاقة الحركية للحركة النسبية للإلكترونات والبروتونات كانت اكبر من طاقة ارتباط هذه الجسيمات مع بعضها البعض .

ان التكثف التجاذبي للكواكب والنجوم ، الذى بدأ بعد تكون الهيدروجين ، هو نتيجة لعدم استقرار الجاذبية . والتكاثفات القليلة للغاز ، الناجمة عن بعض الاسباب الطارئة ، ستبدأ فى المستقبل بالتطور وذلك بان تجذب اليها المادة المحيطة بها . ونتيجة ذلك تزداد كثافة المادة بالرغم من ان توسع الكون برمته يؤدى الى انخفاض معدل الكثافة . وفى مرحلة معينة ، تحدث الزيادة اللاحقة فى كثافة بعض الاقسام المعينة من السحابات الغازية ، الناشئة نتيجة لعدم استقرار الجاذبية ، بسبب اصطدام الذرات مع بعضها البعض . وفى حالة الحركة الفوضوية للذرات ، يمكن ان يحدث دائما ، ان احدى الذرات المتحركة بصورة اسرع ، تلحق بذرة بطيئة الحركة وتصطدم بها . ونتيجة لذلك ، ينشأ اندماج مجهرى دقيق ، تلتحق به الذرات الاخرى بسرعات اكبر فاكبر . واستنادا الى صيغة زيلدوفيج ، ينتج شىء يشبة « الكومة الصغيرة غير المرتبة » التى تحدث على طرق السيارات العامة فى حالة الاصطدامات وغيرها . وتزداد بالتدريج مناطق الكثافة العالية ، وفى نهاية المطاف كما تبين الحسابات ، تتكون طبقة مسطحة من المادة تشبه فطيرة المعجنات . ان مثل هذا الشكل الخارجي ، يرتبط بانتقاء اتجاه معين ، يحدده اتجاه حركة الجسيمات المتصادمة فى المرحلة الاولى .

وبعد فترة من الزمن ، تنقسم طبقات المادة هذه الى اقسام منفصلة اصغر كتلة ـ مجرّات بدائية ، تنقسم بدورها الى كواكب او نجوم . والصعوبة الكبرى تكمن فى بيان اسباب دوران المجرات .

ولكن توجد الآن مبررات للافتراض بان هذا الدوران لم يكن من خواص مادة الكون فى بداية الامر ، ولكنه ظهر فى مرحلة التكثف التجاذبى .

وفى مرحلة لاحقة عند تطور تشوء الكواكب والنجوم ، بدأت القوى الذرية وغيرها تلعب دورا كبيرا فى المسألة الى جانب قوى الجاذبية . وسوف لانقوم الآن بمناقشة ذلك ايضا .

ولكن كيف كان عليه الكون قبل بداية التوسع ؟

من الاسهل من حيث المبدأ ، ان نجيب على هذا السؤال فيما يتعلق بالكون المتناهي . ففى ذلك الوقت كان من الممكن بصورة عامة ان يستبدل التوسع بالانضغاط ، وهنا يجب اعتبار حالة الكون في اللحظة الزمنية (ن=صفر) بمثابة نتيجة لذلك الانضغاط الذى حدث سابقا . عندئذ سنأتي الى فرضية الكون النابض . ان الكون ينبض (يتوسع وينضغط) بصورة أزلية منذ فترة زمنية لايعرفها احد حتى الآن . وهذه الصورة تعتبر ابسط واسهل صورة يدركها عقلنا لتطور الكون الأزلى . ولكن بطبيعة الحال ، لا يجب ان يكون معيار البساطة فى مثل هذه المسائل ، هو المعيار الحاسم .

وهنا ، كما هو الحال فى علم الفيزياء دائما ، يترك القرار الحاسم للتجربة . نعم ، اننا لم نخطىء فى الكلام ، ان القرار الحاسم للتجربة وحدها بالذات ، بالرغم من انه قد يبدو أن فى الامكان تحقيقها ، فيما لو امتلكنا آلة الزمن التى كانت ستساعدنا فى رؤية الماضى السحيق .

والابحاث الهامة جدا التى اجريت على وجه الخصوص من قبل الاكاديمى السوفييتى زيلدوفج ورفاقه ، تبين بان نتائج تلك

العمليات التى جرت بصورة عارمة فى المراحل الاولى تماما لتطور الكون ، يجب ان تظهر الآن ايضا . وسوف نعود الى هذه المسألة فيما بعد .

خطوة هائلة على طريق ادراك الطبيعة – قد تبدو لدى القارىء رغبة في السؤال التالى : اذا كانت نظرية اينشتاين للجاذبية معقدة جدا ، واذا كانت نتائج علم الكونيات المستخلصة منها تتميز بطابع مبدئى وفى احيان كثيرة بطابع خيالى ايضا ، واخيرا كانت هذه النظرية لم تغن العلوم التكنيكية باى شىء لحد الآن ، اذن ما الذى يجعل ابرز علماء العصر الحديث ، يتكلمون عنها باعتبارها « اعظم منجزات العقل البشرى » ؟ وما الذى يجلب اليها الاهتمام الدائم من قبل علماء الفيزياء والفلاسفة وعلماء الفلك ، وعدد كبير جدا من المفكرين لمدة تزيد على الستين عاما ؟ ان سبب ذلك لا يكمن فقط فى « ذوق البشرية الجيد » بطبيعة الحال ، وليس فى الجمال الخلاق للمبادىء الاساسية لهذه النظرية فقط .

ان السبب الرئيسى هو ان هذا يعتبر اكتشافا لعلاقات فيزيائية جديدة خارقة الصعوبة ، لم تخطر على بال اى عالم طبيعى من قبل .

وقد ساعدتنا نظرية اينشتاين فى الدخول الى مجال علمى جديد ، يعتبر بالنسبة للانسان ذا اهمية بالغة لا تقارن . وهنا اقتربنا لاول مرة من ادراك اللانهاية ، بنظرية فيزيائية دقيقة . وابتدأ الانسان لاول مرة يحس بانفاس الكون ليس بواسطة الوحى الشعرى ، بل على دروب المعرفة العلمية الدقيقة . وبدون نظرية اينشتاين ، لم يكن فى المستطاع حتى طرح اكثر تلك الاسئلة التى تحدثنا عنها سابقا .

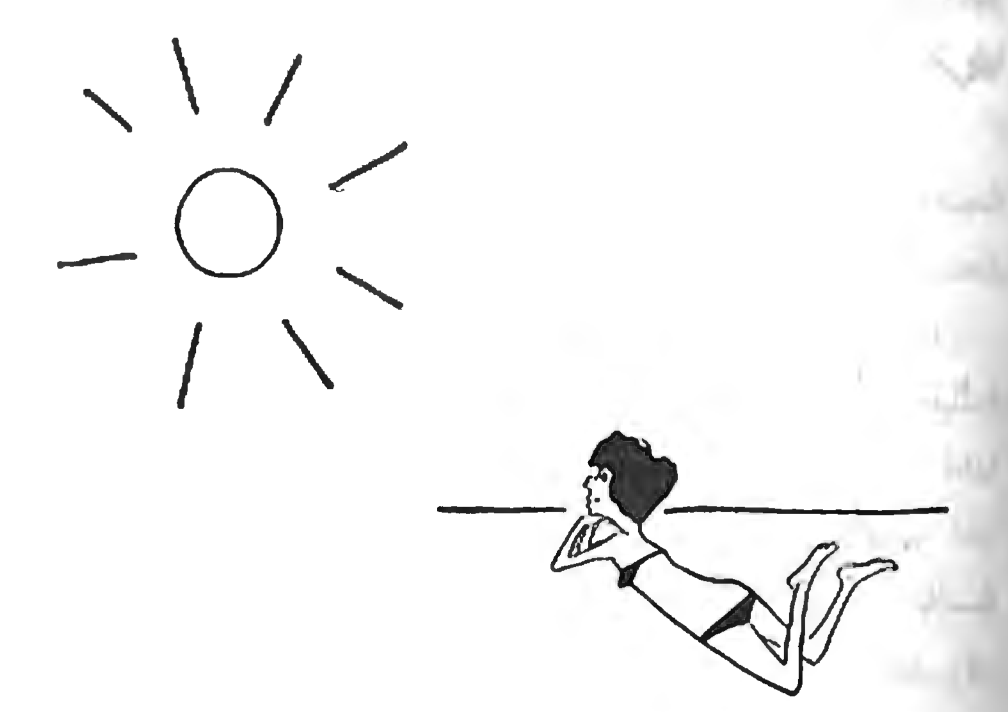
وقبل مائة عام تقريبا ، اعلن العالم فارادى بعد ان اكتشف العلاقة بين الظواهر الضوئية والمغنطيسية ، أنه « أستطاع مغنطة الضوء واضاءة خط القوى المغنطيسى » .

ويمكن القول بكل شجاعة ، ان نظرية اينشتاين سلطت ضوءا جديدا على العقائد العلمية ، وفكرتها « المغنطيسية » سيطرت وما تزال تسيطر على الباحثين فى علوم الطبيعة . ومهما تقدم تطور ادراكنا للجاذبية ، فان الاكتشاف العبقرى « لنيوتن القرن العشرين » سيغزو قلوبنا دائما بجرأته الفريدة ، وسيبقى الى الابد خطوة هائلة على طريق ادراك الطبيعة .

الفصل الثالث

القوى المغنطيسية الكهربائية

إنني اغنية عن الجسم الكهربائي ...
وولت ويتمان « اوراق العشب »



١ ـ ما هى القوى التى تسمى بالقوى المغنطيسية الكهربائية ؟

الاطفال والعلماء ـ ان الكتاب الموضوع على المنضدة ، لا يمكن طبعا ان يسقط الى الارض مخترقا المنضدة ، بالرغم من جذب الارض له . ويعرف الجميع ان الكتاب لن يزحف حتى عندما نميله قليلا . ولا يدهش احد عادة ، لقابلية ارجلنا على زيادة سرعة حركتنا عندما يلحق بنا كلب مسعور . واخيرا نجد ان قليلا من الناس فقط ، يفكر مليا فى الاسباب التى جعلت كلا من الكتاب والمنضدة والحجر وغيرها من الاجسام الاخرى الصلبة ، تحافظ على شكلها .

اننا نصادف مثل هذه الحقائق فى كل خطوة ، وقد تعودنا عليها منذ طفولتنا . وتصبح هذه الحقائق واضحة الى درجة كبيرة ، بحيث لا نشعر معها بتاتا بالحاجة الى تفسير لها . وفى اكثر الحالات ، لا نحتاج الى هذا التفسير لكى نهتدى الى طريقنا



باطمئنان فى العالم المحيط بنا . ومن المهم دائما ان نعرف ماذا يجرى حولنا ، ولكن ليس من المهم دائما ان نعرف لماذا يجرى ذلك بهذه الطريقة وليس بطريقة اخرى .

ومن الواضح اننا فى طفولتنا المبكرة فقط ، يمكن ان نهتم باسباب ابسط الظواهر العادية التى تحدث حولنا . ولكن التوصل الى معرفة هذه الاسباب ، بعيد تماما عن مقدرة الطفل ، اما الانسان البالغ فقلما يعود الى تلك المسائل التى أعرض عن حلها فى طفولته . ان محاولة تفسير سلوك الاشياء « البسيطة » تبدو حسب قول العالم الفيزيائى الانجليزى بيرى ، بعيدة الاختفاء فى اعماق الوعى البشرى ، والظواهر غير المتوقعة وغير العادية ، تشغل عقل الانسان . ان الاطفال والعلماء فقط ، يتميّزون بحب الاستطلاع فيما يتعلق بابسط الظواهر العادية .

وهذا هو السبب الذى جعل من الاسهل من نواح كثيرة ، ان نتحدث مثلا عن الخواص العجيبة للفراغ والزمن ، المشروحة فى نظرية النسبية ، من ان نوضح سبب محافظة الحجر على شكله .

فى الحالة الاولى نشعر بطرافة الموضوع بسرعة ، بينما تعتبر الحالة او الحقيقة الثانية عادية الى درجة كبيرة ، بحيث يدعو الحديث عنها الى الملل .

اما فى الحقيقة ، فان الاجابة عن السؤال المتعلق باسباب الظواهر المألوفة التى ذكرناها فى بداية هذا الفصل ، ليست اجابة سهلة تماما . ان محاولة التفكير فى تلك الظواهر ، تذهب بنا بعيدا جدا بسرعة . وفى الحقيقة، تأخذنا الى مسافة بعيدة ، تعادل المسافة التى قطعها العلم فى العصر الحديث . وقبل ان نتوغل فى مثل هذه الاعماق ، لنستكشف بأخذ مثال واحد فقط ، ولو

بداية سلسلة الاسئلة التى تتبادر حتما فى ذهن كل من يحاول التفكير فى تفسير الحقائق العادية ، تلك الحقائق التى حتى ليس من الملائم ان ننعتها بمصطلح علمى كمصطلح الظواهر الفيزيائية .

قوة المرونة و « أقاربها » — يوجد على المنضدة الآن كتاب ، تؤثر عليه قوة الجاذبية . ومع ذلك انه لايسقط الى الاسفل . ما سبب ذلك ؟ سيجيب على ذلك الشخص غير المحنك فى العلم بقوله : « ان المنضدة تمنعه من السقوط » . ولكن هذا لا يعتبر تفسيرا ، بل اشارة بسيطة الى حقيقة معينة .

اما الانسان المطلع على الفيزياء المدرسية ، فسوف يذهب الى ابعد من ذلك ، ويجيب قائلا بان الكتاب معرض الى قوة مؤثرة من ناحية المنضدة ، وهذه القوة تعادل قوة الجاذبية المؤثرة عليه . وهذه القوى تسمى بقوة المرونة ، وهى تنجم عن انحناء المنضدة القليل جدا ، غير المنظور ، الناجم عن ثقل الكتاب . ولكن الاجابة عن سبب ظهور قوة المرونة عند انحناء المنضدة ، يستبعد ان تكون فى استطاعة تلميذ المدرسة .

ونحن مع القارىء ايضا ، ستقطع هنا سلسلة الاسئلة والاجوبة ونعود الى بيان اسباب ظهور قوى المرونة ، ولكن بعد صفحات كثيرة من الكتاب . ولهذا الامر اسباب مهمة للغاية . ذلك لان قوى المرونة تتميز باصل او منشأ مشترك مع كثير من القوى الاخرى ، ولها اقارب كثيرون ، وهى لاتشبه مطلقا من هذه الناحية ، قوى الجاذبية العامة ، التى لم يبحث العلم حتى يومنا هذا ، حتى عن ابعد اقاربها .

ان قوى المرونة التى تساعد الاجسام الصلبة فى المحافظة على شكلها ، تمنع تغير حجم السوائل وانضغاط الغازات ؛ وقوى الاحتكاك

التى تعرقل حركة الاجسام الصلبة والسوائل والغازات ، واخيرا قوى عضلات الانسان — كل هذه القوى تعتبر اعضاء عائلة واسعة واحدة . ولكل هذه القوى طبيعة واحدة وقريب مشترك واحد — انه القوى المغنطيسية الكهربائية . ان الطبيعة وفرت للقوى المغنطيسية الكهربائية ، اوسع مسرح ممكن لنشاطاتها . وفى حياتنا اليومية العادية ، لا تصادفنا — باستثناء قوى الانجذاب نحو الارض وقوى المد — سوى الانواع المختلفة من القوى او المؤثرات المغنطيسية الكهربائية ، وحدها فقط ، اذا لم نأخذ فى الاعتبار القوى النووية ، التى تعلمنا كيف نستخدمها منذ مدة قصيرة نسبيا . ان قوة البخار المرنة على وجه الخصوص ، تتميز هى الاخرى بطابع مغنطيسى كهربائى .

ولذلك نجد عمليا ان استبدال « عصر البخار » بـ « عصر الكهرباء » دل فقط على استبدال عصر لم نتمكن فيه من التحكم فى القوى المغنطيسية الكهربائية ، بعصر استطعنا فيه ان نتحكم فيها حسب رغبتنا .

ان القوى المغنطيسية الكهربائية ، تساعدنا على رؤية الكتاب الذى نقرأه ، ذلك لان الضوء هو احد اشكال المؤثرات المغنسيسية الكهربائية . والحياة بالذات كانت ستفقد معناها تماما ، بدون هذه القوى . وقد أثبتت تحليقات رواد الفضاء ، بان الكائن الحى وحتى الانسان ايضا ، لهما القدرة على البقاء فى حالة انعدام الوزن لمدة طويلة من الزمن . ولو توقف تأثير القوى المغنطيسية الكهربائية ولو للحظة واحدة ، لانعدمت الحياة فى الحال .

وفى حالة الفعل المتبادل للجسيمات الدقيقة فى الانظمة الاكثر تراصا فى الطبيعة — فى نويات الذرات — وعند الفعل المتبادل بين

الاجرام السماوية ، تلعب القوى المغنطيسية الكهربائية دورا بارزا ، في الوقت الذى توجد فيه قوى الجاذبية والقوى النووية اما بمقادير قليلة جدا او بمقادير هائلة . ان كلا من بنية غلاف الذرة ، تلاصق الذرات وتحولها الى جزيئات وتكوّن قطع من المادة ، تحدد جميعها بواسطة القوى المغنطيسية الكهربائية وحدها . ومن الصعب ، بل من المستحيل تقريبا ، ان نجد ظاهرة واحدة ليس لها علاقة بتأثير القوى المغنطيسية الكهربائية . وتبعا لذلك ، من الصعب علينا حتى تعداد الاشكال المتنوعة الكثيرة التى تظهر فيها هذه القوى . ولحد الآن لم نذكر الا بعض اشكالها او مظاهرها القليلة فقط .

من اين نبدأ — بعد كل ما ذكرناه اعلاه ، يسهل على القارىء ان يتصور بانه من المستبعد ان يكون من المفيد البدء فى التعرف على مثل هذه العائلة الواسعة جدا بالبحث الدقيق لاحد اعضائها فقط — قوى المرونة . اذن من اين نبدأ ؟ لقد عددنا اشكالا متنوعة كثيرة من القوى المغنيسية الكهربائية . ما معنى ذلك ؟ ان مجرد ذكر الاسم لا يعنى شرح ماهيّة المسمى * . لا سيّما وان اشياء اخرى مختلفة تماما ، تسمى عادة بالقوى الكهربائية والمغنطيسية . ان قوة الفعل المتبادل بين الاجسام المكهربة ، تسمى عادة بقوة الجذب الكهربائى . وعلى سبيل المثال ، القوة التى تجعل القصاصات الورقية الصغيرة ، تنجذب نحو المشط الذى سرحنا به شعرنا عدة

* فى الحقيقة توجد لدى كثير من الناس مع الاسف عادة متأصلة فى تقبل التفسير بكلمة واحدة فقط ، اذا كانت هذه الكلمة مشهورة الى حد كاف ، بحيث يكفى ان نقول : « تؤثر هنا الكهرباء » لنجعل هؤلاء الناس مقتنعين فى الحال ، بالرغم من ان التفسير الحقيقى لذلك ، يجب ان يأتى بعد ذلك فقط .



مرات . وعادة تعتقد هؤلاء الناس بان القوة المغنطيسية ، هى القوة المؤثرة من ناحية المغنطيس على موصل ذى تيار كهربائى ، او هى قوى الفعل المتبادل بين المغنطيسات . اننا لم نذكر لحد الآن سوى التأكيد على ان عددا كبيرا من الافعال المتبادلة المتنوعة الاشكال ، يتميز بطبيعة مشتركة واحدة . ويتضح قبل كل شىء ، بانه من الضرورى الاجابة على السؤال التالى : ما هو الشىء المشترك الذى يجمع بين الافعال المتبادلة المذكورة ؟ او بعبارة اخرى : ما هى القوى التى تسمى بالقوى المغنطيسية الكهربائية ؟

اننا فيما بعد سوف لا نخشى من بعض الاعادات المعينة ، متذكرين الملاحظة الحكيمة التى جاءت على لسان البومة العميقة التفكير ، فى الكتاب الرائع « فينى بوخ* والآخرون كافة » والتى تفيد بانه توجد بعض الاشياء « التى يمكننا تفسيرها مرتين دون الخوف

---

* فينى بوخ – تسمية لدب صغير فى قصة للاطفال – المترجم .

من ان احدا ما قد يفهم ماذا نقول » . وفي الكتاب كانت هذه الملاحظة متعلقة بايضاح وتفسير ما هيّة « عضلات الظهر الضرورية او الملائمة » ، اما حديثنا فسوف يتطرق الى اشياء لا تقل صعوبة عن ذلك .

ولو حاولنا الاجابة على سؤالنا الاساسي بصورة اكثر اختصارا ، لامكننا ان نقول ما يلي : ان اساس تأثير كافة القوى المذكورة اعلاه ، يعتمد على نفس القوانين العامة الواحدة — قوانين الفعل المتبادل بين الاجسام المشحونة كهربائيا . ان كافة القوى المذكورة تعتمد في نهاية المطاف على الفعل المتبادل بين الجسيمات الاولية الدقيقة ، المشحونة بشحنات كهربائية . اما الفعل المتبادل بين الجسيمات المشحونة ، فانه يتم بواسطة المجال المغنطيسي الكهربائي . لذلك تسمى القوى المذكورة بالقوى المغنطيسية الكهربائية . ولو فرضنا بان كافة الشحنات الكهربائية قد اختفت بارادة ساحر ، فسوف تنعدم في الحال قوى المرونة والاحتكاك وغيرها . ولتحللت الى اجزاء مركبة ، ليس الاجسام وحدها فحسب ، بل والذرات التي تتألف منها ايضا .

ان هدفنا الاقرب سيتلخص في التعرف على القوانين الاساسية للافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة . وبعد ان نفعل ذلك فقط ، يمكننا التفكير في اهمية ظهور القوى المغنطيسية الكهربائية ، وفهم الاسباب التي جعلت هذه القوى تنتشر في الطبيعة على نطاق واسع جدا وباشكال متنوعة للغاية .

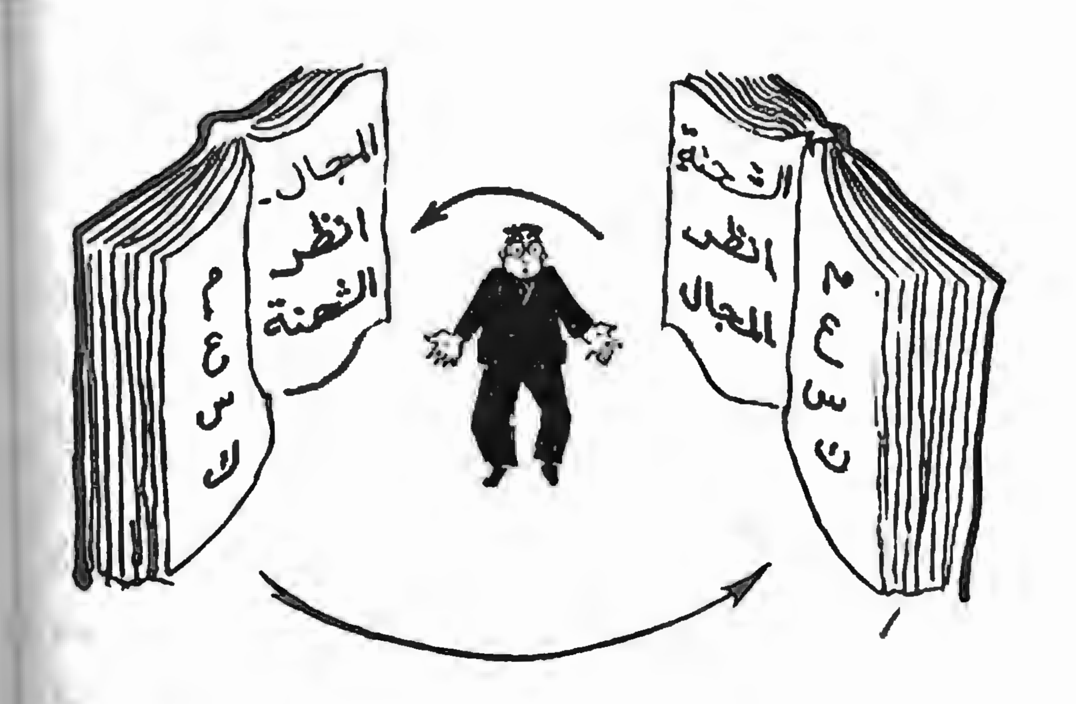
٢ ــ ما هى الشحنة الكهربائية؟

صعوبة التعاريف او التحديدات ــ ما هى الشحنة الكهربائية ؟ نفتح الموسوعة العلمية السوفييتية الكبيرة (م . ع . س . ك) ونجد فيها ما يلى : « الشحنة الكهربائية هى عبارة عن خاصية لبعض الجسيمات ــ الالكترونات ، البروتونات ، البوزترونات وبعض انواع الميزونات * ــ وتتمثل هذه الخاصية فى ان هذه الجسيمات تكون مرتبطة دائما بالمجال الكهربائى او المغنطيسى الكهربائى ، وتتعرض لتأثيرات معينة من المجالات المغنطيسية الكهربائية الخارجية » . والآن ما هو المجال المغنطيسى الكهربائى ؟ نفتح الموسوعة المذكورة فى المكان المحدد لذلك فنجد ما يلى : « المجال المغنطيسى هو عبارة عن مجال فيزيائى طبيعى للشحنات الكهربائية المتحركة ، يعمل على تحقيق الفعل المتبادل بينها » . وهنا نجد انفسنا امام حالة معروفة ــ افعى تعض ذنبها . الشحنة هى شىء مرتبط بالمجال المغنطيسى الكهربائى ، اما المجال فهو شىء مرتبط بالشحنة .

وهنا غفلت هيئة التحرير عن الامر التالى : ان قصور هذه التعاريف او التحديدات ، الذى يبدو امامنا ، يعكس تلك الصعوبة القائمة فعلا، التى تصادف كل من يحاول اعطاء تعريف او تحديد مختصر لهذه المفاهيم الاساسية . ذلك لأنه من المستحيل هنا اعطاء تعاريف او تحديدات مختصرة مقنعة من كافة النواحى بصورة عامة . والامر الصعب للغاية ، هو ان نستوضح ذلك بالذات

---

* الميزون (Meson) : هو عبارة عن جسم الكترونى ــ المترجم .



لانفسنا . لقد تعودنا ان نجد التفسيرات المفهومة لدينا لاعقد التكوينات والعمليات مثل الذرة ، الانتشار الحرارى ، التفاعل النووى المتسلسل والى آخره . وفى الحقيقة ان مثل هذه التكوينات المعقدة بالذات ، مثل الذرة ، ليس من الصعب جدا تفسيرها . بينما نجد بان ابسط الاشياء او المفاهيم الاولية الاساسية ، التى لا يمكن تجزئتها الى اجزاء ابسط ، والتى لم يتوصل العلم لحد الآن الى العثور على أية آلية بسيطة فى داخلها ، لا يمكن ان نقدم لها تعريفا او تفسيرا مختصرا مقنعا . وعلى الاخص اذا كانت تلك الاشياء ، غير قابلة للادراك مباشرة من قبل اعضائنا الحسيّة ان الشحنة الكهربائية والمجال المغنطيسى الكهربائى ، ينتميان الى مثل هذه المفاهيم الاساسية بالذات . وعند التعرف عليهما فى المرحلة الدراسية ، غالبا ما يحدث التالى : فى البداية لا يفهم التلاميذ معناهما ، ثم يتعودون على مفهوميهما بالذات ويستخدمونهما ، دون ان يحسبوا حسابا لعمق محتواهما برمته .

ان الوضع هنا معقد جدا ، الى درجة انه قبل مدة غير بعيدة نسبيا ، فى منتصف القرن الماضى ، كان حتى بامكان عباقرة ذلك الزمان ، التمسك باعجب الافكار عن حقيقة الكهرباء . وعلى سبيل المثال ، اعتبر هيجل ان الكهرباء ، هى عبارة عن « غضب ذاتى وهياج خاص للجسم بالذات » وانها « ذاتية عارمة ، تكشف عن نفسها فى كل جسم عندما يتهيّج او يستثار » — من كتاب هيجل (فلسفة الطبيعة) .

الشحنة الكهربائية والجسيمات الاولية — سوف نحاول فى البداية ليس توضيح ماهية الشحنة الكهربائية ، بل الشيء الذى يكمن وراء التأكيد القائل بان: الجسم او الجسيم الدقيق المعين، يحتويان على شحنة كهربائية. ان هذا هو نفس الشيء تقريبا، ولكن ليس تماما، وربما كان الثانى اقرب الى الفهم من الاول .

وفى الوقت الحاضر ، لا يخفى على احد ان كافة الاجسام فى الطبيعة مكونة من جسيمات دقيقة للغاية لا تقبل التجزئة الى اجزاء اصغر منها ، كما نعرفه لحد الآن ، وقد اتفق على تسميتها لهذا السبب ، بالجسيمات الاولية . وليست هناك حاجة الى تعداد كافة انواع الجسيمات التى اكتشفت لحد الآن . والمهم هو ان الدور الاساسى لاحجار بناء الكون ، يعود الى الالكترونات ، البروتونات والنيوترونات . والآن بماذا تختلف هذه الجسيمات الدقيقة عن بعضها البعض ؟ اننا فى الحقيقة عندما نؤكد على ان الجسيمات مختلفة ، فاننا نؤكد فقط على أنها تؤثر بصورة مختلفة على العالم المحيط بها وتسلك سلوكا مختلفا عند تأثيره عليها . وهكذا نجد على سبيل المثال ، ان لكافة الجسيمات كتلة معينة ، وهذه الكتلة تختلف من جسيم الى آخر . فكتلة البروتون تزيد على كتلة الالكترون

بمقدار ١٨٣٦ مرة ، اما كتلة النيوترون فهي اكثر من ذلك قليلا وهلم جرا . وبناء على ذلك ، نجد من ناحية بان هذه الجسيمات تسلك سلوكا مختلفا تحت تأثير القوى الخارجية ، لان خواص قصورها الذاتي مختلفة ، ومن ناحية اخرى ، نجد ان قوى فعلها المتبادل التجاذبي مع بعضها البعض ومع العالم الخارجي ، تختلف عند تساوي بقية الظروف الاخرى . وعندما نقول بان الالكترونات والبروتونات مشحونة بشحنة كهربائية ، فهذا يعني انها قابلة للقيام بافعال متبادلة من نوع محدود (مغنطيسية كهربائية) وليس اكثر من ذلك . وعدم وجود شحنة لدى الجسيم يعني انه لا يقوم باية افعال متبادلة من هذا النوع . ان الشحنة الكهربائية بالذات ، هي عبارة عن معيار كمي لقابلية الجسم للقيام بافعال متبادلة مغنطيسية كهربائية ، تماما مثل تعريف كتلة الجاذبية ، باعتبارها الكمية التي تحدد شدة الافعال المتبادلة التجاذبية . والشحنة الكهربائية ، هي الخاصية الثانية المهمة جدا (بعد الكتلة) من خواص الجسيمات الاولية ، وهي تحدد سلوك الجسيمات في العالم المحيط بها .

ولا يوجد اي شيء غير عادي في كل ما ذكرناه اعلاه . لأن الناس في الواقع ، بغض النظر عن مظهرهم الخارجي ، يختلفون عن بعضهم البعض بالطريقة التي يتفاعلون بها مع العالم المحيط بهم ، وبنوع التأثير الذي يؤثر به العالم عليهم .

وعلى سبيل المثال عندما نقول ان السيد بيفيك في رواية الكاتب الروائي الانكليزي ديكنز « مذكرات نادي بيفيك » كان انسانا طيب القلب ، الى للدرجة كان بامكانه ان ينقذ من سجن الديون تلك الارملة التي حاولت ان تتزوجه ، فاننا نعني بذلك طبيعة معينة من سلوكه ضمن المجتمع المحيط به . واذا كشف سلوك الانسان

عن طبيعة عكسية ، فسوف يصبح شريرا . كالسيد كاركير فى رواية الكاتب الروائى الانكليزى ديكنز « دومبى وابنها » الذى كان كل سن من اسنانه يظهر للسيدة دومبى وسيلة للحقد .

توجد فى الطبيعة جسيمات مشحونة بشحنات ذات علامات متعاكسة . ان شحنة البروتون هى شحنة موجبة ، اما شحنة الالكترون فهى سالبة . ان العلامة الموجبة لشحنة الجسيم ، لا تدل بطبيعة الحال على وجود محاسن خاصة فيه . ان ادخال شحنات ذات علامتين مختلفتين ، يعبر ببساطة عن حقيقة كون الجسيمات المشحونة، تستطيع ان تتجاذب مع بعضها البعض او تتنافر عن بعضها البعض ايضا . وعندما تتساوى علامات الشحنة تتنافر الجسيمات ، اما عندما تختلف العلامات فان الجسيمات تتجاذب .

ومثلما يختلف الناس عن بعضهم البعض ليس بطيبة القلب ووزن الجسم فحسب ، نجد ان الجسيمات الاولية تمتلك بالاضافة الى الشحنة والكتلة ، وعددا من الخواص الاخرى ايضا . ولكن المهم هو ما يلى : مهما اختلفت خواص الجسيمات الاولية من نواح اخرى . نجد ان الشحنة ، اذا وجدت فعلا ، تكون متساوية بصورة عامة فى كافة الجسيمات : الالكترونات ، البروتونات ، البوزترونات ، البروتونات السالبة الشحنة ، الميزونات الخفيفة والثقيلة وفوق الثقيلة . ولا يمكن ان تختلف الاالعلامات فقط . ولا توجد فى الطبيعة اية شحنة اصغر من شحنة الالكترون بتاتا . وطيبة القلب ايضا ، مثل بقية الصفات الاخلاقية الاخرى ، موزعة بين الناس بصورة غير منتظمة الى ابعد حد . وتوجد بين النزعة الملائكية والنزعة الشيطانية — وهما النزعتان المتضادتان تماما لشخصية الانسان — هاوية سحيقة من الطبائع المتنوعة .

وتبين التجربة بان الشحنة الكهربائية تحافظ على وجودها فى الطبيعة . ومجموع شحنات كافة الجسيمات (مع اخذ علاماتها فى الاعتبار) يبقى ثابتا على الدوام . وعندما يظهر جسيم جديد مشحون (وهذا ما يحدث فى احيان كثيرة جدا) فاننا نلاحظ فى نفس الوقت حتما ، ظهور جسيم ذى شحنة معاكسة . وكذلك تنعدم ازواج الجسيمات ذات الشحنة المتعاكسة العلامة فى نفس الوقت فقط .

الشحنة وقوانين الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية — ان وجود شحنة كهربائية فى الجسيمات ، يفترض وجود قوانين محددة بالضبط ، لافعال القوى المتبادلة مع بعضها البعض . وهى القوانين التى تجيز الصياغة الرياضية المضبوطة وتحدد حركة الجسيمات بالذات . ومن الواضح تماما ، اننا فى الحقيقة لا نعرف اى شىء بعد عن الشحنة ، اذا لم نعرف قوانين هذه الافعال المتبادلة . ان معرفة القوانين بصورة فعلية ، يجب ان تدخل عضويا ضمن تصوراتنا عن الشحنة (لأن خاصية الانسان التى تصفه بطيبة القلب ، لا تعنى اى شىء ، اذا كنا لا نعرف ما هو العمل الطيب) . ان هذه القوانين ليست سهلة مطلقا ، ولا يمكن شرحها فى كلمتين بتاتا . وقد وضعت مئات المجلدات الخاصة بشرح الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة ، وسوف توضع فى المستقبل مئات اخرى من المجلدات حول هذا الموضوع . وبطبيعة الحال ، لسنا بحاجة الى قراءة كل هذه المجلدات لاجل ان نفهم ما هى الشحنة الكهربائية ، ولكن مع ذلك ، من الضرورى ان نتعرف باتقان على علم الديناميكا الكهربائية (هذا هو الاسم الذى يطلق على العلم الذى يبحث الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة) .



وبعد كل ما ذكرناه اعلاه ، اذا رأى القارىء انه لا يجوز التحدث عن الشحنة الكهربائية بكل هذه البساطة المتناهية ، مثلما نتحدث عن القاطرة البخارية مثلا ، عندئذ يمكن ان نستمر فى حديثنا الى ابعد من ذلك . اما اذا كان الامر على العكس من ذلك ، عندئذ نأمل ان يجد القارىء مساعدة له فى هذه الفكرة الاخرى التالية :

لعل القارىء يتذكر القصة الخيالية الرائعة « أليز فى بلاد العجائب » للكاتب الروائى لويس كيرول . كان لأليز صديق هو عبارة عن قط . وفى الحالات الصعبة كان يظهر امامها ويزورها ، لكن ليس بكل هيئته مرة واحدة . كانت تظهر ابتسامته قبل كل شىء ، وبعد ذلك تظهر بقية اقسام جسمه كافة . وكان القط يختفى بصورة عكسية الترتيب ، ابتداء من نهاية الذنب وانتهاء بالابتسامة التى كانت تبقى بعض الوقت بعد اختفاء كافة اعضاء الجسم الاخرى . وتتعجب أليز قائلة « غالبا ما رأيت قطا بدون ابتسامة ، لكننى ما رأيت فى حياتى ابتسامة بدون قط ! » .

ومثل هذه الحالة تماما تصادفنا هنا ، اذ غالبا ما يصادفنا جسيم بدون شحنة ، اما الشحنة بدون جسيم ، فهى مثل الابتسامة بدون قط ، لذلك فهى لا توجد الا فى القصص الخيالية . واستنادا الى الافكار والتصورات الحديثة ، لا يمكن اعتبار الشحنة الكهربائية بمثابة آلية اضافية معينة يمكن نزعها من الجسيم ثم تفكيكها الى اجزاء تركيبية

واعادة تجميعها من جديد . ان وجود الشحنة فى الجسيم ، يرتبط ارتباطا وثيقا بتركيبه الكامل الذى نجهله لحد الآن ، تماما كما ترتبط طيبة القلب ايضا على سبيل المثال ، بصفاته النفسانية جميعها . وكما لا توجد هناك اية آلية مسئولة عن اعمال الانسان الطيبة ، كذلك ليست هناك آلية مسئولة عن « الاعمال او النشاطات المغنطيسية الكهربائية » فى الجسيم الدقيق .

ونحن نطلق اسم الشحنة ليس على الآلية فى داخل الجسيم فى الحقيقة ، ولكن على قابليته ككل لتبادل الفعل او التفاعل مع بقية الجسيمات الدقيقة الاخرى بصورة معينة* .

اننا نتحدث الآن عن ماهية الافكار العلمية فى الوقت الحاضر . ولا يجوز التفكير فى ان معلوماتنا عن الشحنة هى معلومات نهائية ، وسوف لا يستطيع العلم فى المستقبل ان يضيف اى شىء اليها . وفى الوقت الحاضر ، تطرح الاسئلة التالية فى علم الجسيمات الاولية الدقيقة : لماذا تكون بعض الجسيمات الاولية الدقيقة فقط ، مشحونة بشحنة كهربائية ؟ لماذا لا توجد شحنة اكبر او اصغر من شحنة الالكترون ؟ كيف يرتبط حجم الشحنة مع بقية العوامل الثابتة الاخرى ، مثل سرعة الضوء ، ثابت بلانك وغير ذلك ؟ من يدرى ، ربما ليس ببعيد ذلك الوقت الذى تكون فيه الاجوبة على هذه الاسئلة جاهزة : توجد نجاحات معينة بارزة في بحث اصعب خفايا الكون فى الوقت الحاضر . وفى تجارب العالم خوفشتادتير ، عند قذف البروتونات بالالكترونات بطاقة كبيرة جدا ، امكن

---

* ولكن تجدر الاشارة هنا الى ان الشحنة الكهربائية تسلك سلوكا متماثلا فى كافة الجسيمات الدقيقة . وان بقية خواص الجسيمات لا تؤثر على سلوكها المنطيسى الكهربائى .

تحديد الطابع التقريبى لتوزيع الشحنة الكهربائية فى داخل هذه الجسيمات الدقيقة . وقد ظهر ان شحنة البروتون « تنتشر » فى المنطقة الطرفية للفراغ (نصف قطر البروتون يساوى ٨,٠ × ١٠⁻¹³ سم) وتتوزع على هذه المنطقة بصورة غير منتظمة مطلقا . ويوجد فى وسط قسم مكثف يسمى « الكيرن » وحجمه يقل عن حجم البروتون بالذات باربع مرات . وقد اتضح فى نفس الوقت ، بان المناطق المشحونة موجودة فى داخل النترون ايضا .

والأمر المدهش جدا هو انه بالرغم من انتشار الشحنة فى الفراغ ، ليس فى استطاعتنا ان نقتطع منها ولو مثقال ذرة واحدة . ومن المستحيل وجود شحنة تقل كميتها عن الكمية المحددة — وهذه الحقيقة ربما تعتبر من اكثر الحقائق غموضا فى كل ما يتعلق بطبيعة وجوهر الشحنة الكهربائية . ونلاحظ ايضا باننا قد تحدثنا لحد الآن عن شحنات الجسيمات الاولية فقط . ان الجسم الاكبر حجما من ذلك (الجسم الماكروسكوبى) كما يسهل علينا ان نتصوره ، سيكون مشحونا بشحنة كهربائية اذا كان محتويا على كمية زائدة من الدقائق الاولية المتماثلة العلامة . والعلامة السالبة للجسم ، تعتمد على فائض الالكترونات بالمقارنة مع البروتونات ، اما العلامة الموجبة فتعتمد على نقص الالكترونات . ان اكثر الاجسام فى الطبيعة متعادل كهربائيا ، وذلك لان عدد الالكترونات فيها يساوى عدد البروتونات . ولكن هل ان العالم برمته متعادل ؟ اذا اعتبرنا الكون محدودا او نهائيا ، فان شحنته الكهربائية تساوى صفرا . اما اذا اعتبرنا الكون غير محدود او غير نهائى ، فان الشحنة الكاملة قد تكون مختلفة عن الصفر .

وفى الحقيقة ان التعادل الكهربائى لا يعنى بتاتا عدم احتواء

الجسم على خواص مغنطيسية كهربائية . ان هذه الخواص موجودة دائما بشكل خفي . وحتى النترون الذى هو عبارة عن جسيم اولى متعادل ، يحتوى على هذه الخواص ايضا .

ومن حيث الصفات المغنطيسية الكهربائية فان النترون يشبه المغنطيس الصغير .

٣ ـ التأثير المتبادل للشحنات الكهربائية الساكنة

الخطوات الاولى ـ اننا سوف لا نعرف بتاتا من هو اول انسان انتبه الى الخاصية المدهشة للكهرمان المدلوك فى الصوف ، الذى يجذب اليه مختلف الاشياء الخفيفة دون ان يمسها او يلاصقها . وقد حدث ذلك منذ زمن بعيد جدا . واستنادا الى قول الفيلسوف الاغريقى القديم فايس الميليتى الذى عاش فى القرن السادس قبل الميلاد ، كان الحائكون اول من اكتشف تلك الخاصية .

وقد اكتشف فيما بعد ، ان مثل هذه الخاصية لا توجد فى الكهرمان فحسب ، بل وتوجد ايضا فى الزجاج ، الايبونيت وغيرهما من المواد المدلوكة بالصوف او الجلد ، والكهرمان باللغة الاغريقية هو الالكترون ، ولهذا السبب اصبحت الاجسام التى تكتسب هذه الصفة ، تسمى بالاجسام المكهربة .

وهكذا نجد ان للمصطلح العلمى «كهرباء» اصلا شاعريا بما فيه الكفاية .

وفى هذه التجارب البسيطة للغاية ، تعرف الناس لاول مرة على الظهور الواضح للقوى الكهربائية . ولكن مضت مدة تزيد على الفى سنة ، قبل ان تبدأ الابحاث النظامية للكهرباء وقبل ان يكتشف

قانون الفعل المتبادل بين الاجسام المكهربة . ان الخاصية الفريدة للكهرمان وغيره من الاشياء الاخرى ، اصبحت شيئا غريبا مدهشا : كيف يمكن ان تتجاذب الاجسام دون ان تلامس بعضها البعض ؟ ولم يذكر اى شيء حول ان القوانين التى تتحكم فى مجرى اكثر العمليات التى تحدث على سطح الارض ، ممثلة هنا بابسط شكل من اشكالها .

وعلى مدى عصور كثيرة ، لم تتخذ اية محاولات جدية للتفسير العلمى لتجارب الاجسام المكهربة ، من الناحية الفعلية . ولا يجوز اعتبار محاولات اعطاء الكهرمان روحا حية ، بمثابة تفسير لخاصيته المذكورة . وقد اهتم بهذه التجارب على الاكثر ، الناس الاغنياء الذين ليست لهم اية علاقة بالعلم . وفى قصور الحكام الاوربيين ، كانت تجرى «تجارب كهربائية متسلسلة الادوار» . وقد اهتمت بهذه التجارب على وجه الخصوص ، امبراطورة روسيا القيصرية كاترين الثانية . وقد صممت فى ذلك الوقت ، مكنات كهربائية وتعلم الناس كيفية الحصول على شرارات كهربائية كبيرة .

ومع ذلك ، نجد انه ابتداء من هذه التجارب البسيطة بالذات ، بدأ تطور العلم الخاص بالكهرباء . وهذا ليس لان جاذبية الاجسام المكهربة ادهشت المخيّلة وحفزت بذاتها على تفسير اللغز ، فى نفس الوقت الذى نجد فيه على سبيل المثال ، ان قوى المرونة تعتبر عادية جدا بحيث لا يمكن ان تسبب اية انفعالات لدى الناس . والامر الاساسى هو اننا فى هذه الحالة ، نتقابل مباشرة مع ظهور واضح لاحد القوانين الأساسية لتبادل الفعل بين الاجسام المشحونة ، والذى ظهر ان اثباته اسهل بكثير من التفكير فى مسائل تبادل الفعل بين الذرات ، التى يتألف منها الجسم المتعادل .

وعندما حاولنا فى بداية هذا الفصل ان نتتبع سلسلة الاسئلة والاجوبة المتعلقة باصل قوى المرونة ثم توقفنا عن ذلك فى البداية تماما ، لم يكن عملنا هذا ضروريا بالطبع . لقد كان فى استطاعتنا ان نواصل حديثنا الى ابعد من ذلك ونتحدث عن الذرات ، تركيبها وقوى الفعل المتبادل فيما بينها . ان طريقة الشرح هذه ملائمة الى حد قليل فقط . اما اذا فرضنا انه بدراسة طبيعة قوى المرونة ، كان باستطاعة الناس التوصل الى اكتشاف القوانين الاساسية للافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة ، فهو امر غير محتمل بتاتا . ويمكن بنفس النجاح ايضا ، ان نفترض انه كان فى استطاعة الناس فى البداية ، اختراع السيارة ، ثم تمكنوا بعد ذلك من تبسيطها متوصلين بذلك الى اختراع العربة ، ثم اختراع العجلة . ولو اننا فى العصر الحديث اذا اردنا ان نشرح للطفل الذى يعيش فى المدينة ، ما هى العربة ، ربما كان من الاسهل علينا ان نبدأ بشرح السيارة .

وفى الوقت الحاضر ، يعرف الجميع ان تفسير حركة سقوط الحجر ، اسهل كثيرا من تفسير حركة القطة . الى هذا الحد من الصحة وصلت تصورات الانسان البالغ ، حتى البعيد عن العلم ، حول العالم الذى يعيش فيه . ولكننا نقول الحق اذ نشير الى ان الكثير جدا من الناس فى الوقت الحاضر ، يعتبرون ظهور قوى المرونة (مثل تدحرج كرة القدم) امرا بسيطا ومفهوما ، اما انجذاب قطع الورق الصغيرة نحو المشط من مسافة معينة ، او انجذاب مغنطيسين نحو بعضهما البعض ، فيعتبر بالنسبة اليهم امرا محيّرا او لغزا اما فى الحقيقة فان الامر برمته على العكس من ذلك . ان هذه القوى « المحيرة » هى الابسط بالذات ، اما قوى المرونة العادية

فيمكننا ان نفهمها بالفعل ، اذا اختصرناها وحولناها الى مظهر للقوى « غير العادية » . وسوف نفعل ذلك فيما بعد .



قبل منتصف القرن الثامن عشر ، كانت النجاحات المحرزة فى دراسة الكهرباء غير كبيرة الشأن . وقد تم اكتشاف نوعين من الكهرباء — موجب وسالب ، واكتشفت امكانية نقل وتجميع الكهرباء ، وفسرت الصاعقة تفسيرا صحيحا على انها شرارة كهربائية هائلة تحدث بين غيمتين او بين غيمة واحدة والارض . وبالتالى وصل الامر الى اول تطبيق عملى للمعرفة النظرية المكتسبة : اذ توصل العالم فرانكلين الى اختراع مانعة الصواعق أو قضيب التفريغ (Discharge rod) . وقد ظهر ان السلك الحاد الطرف ، المرفوع فوق المبانى والمتصل بالارض ، يحفظ تلك المبانى من التعرض لخطر الصواعق . وقد كان الانطباع الذى خلفه هذا الاختراع عظيما جدا . ودخل قضيب التفريغ هذا فى موضة الازياء بكل معنى الكلمة ، اذ قامت النساء بوضعه على قبعاتهن كوسيلة للزينة * .

---

* ان الاهتمام الذى تبديه دور الازياء النسائية باحدث الانجازات العلمية والتكنيكية ، لم يخمد حتى فى الوقت الحاضر . وقد أثر اطلاق اول قمر صناعى سوفييتى ، على شكل قبعات وتسريحات النساء فى ذلك الوقت .

ومن الطريف ان ملك انجلترا جورج الثالث ، اصر على ان تكون مانعات الصواعق فى قصره ، ذات نهايات مدورة وليست حادة ، كما اقترحها العالم الجمهورى النزعة فرانكلين ، الذى لعب دورا بارزا فى الحرب مع انجلترا لاعطاء الاستقلال للمستعمرات الامريكية الشمالية . وقد اضطر رئيس الجمعية الملكية الذى عارض الملك فى هذا الرأى ، الى الاستقالة من منصبه احتجاجا على طغيان الملك .

وبعد النجاحات الهائلة لميكانيكا نيوتن فقط ، اصبح فى الامكان اكتشاف قانون مضبوط للفعل المتبادل بين الاجسام المكهربة الساكنة ، او كما يقال عادة ، بين الاجسام المشحونة كهربائيا . وقد اكتشف هذا القانون فى بداية الامر ، ليس بالنسبة للجسيمات الاولية المتفردة ، التى لم يعرف احد بوجودها فى ذلك الوقت ، بل بالنسبة للاجسام المشحونة الكبيرة . وكما نعرف الآن جيدا ، عند حدوث الكهربة بالاحتكاك ، نجد ان اكثر الجسيمات المشحونة حركة - الالكترونات - تنتقل من جسم الى آخر . ونتيجة لهذا الانتقال ، يشحن الجسم الذى فقد الالكترونات بشحنة موجبة ، اما الجسم الذى يحصل على هذه الالكترونات بصورة فائضة فيشحن بشحنة سالبة .

مهمات العلم - ان ابداع نيوتن لعلم الميكانيكا ، واكتشاف قوى الجاذبية العامة وتفسيرها بواسطة حركة الكواكب ، اثر تأثيرا قويا للغاية على عقول العلماء ، بحيث حاول العلماء فى حقول الفيزياء الاخرى ايضا ، ان يكتشفوا قوانين تشابه قوانين نيوتن . وبذلك ظهرت الى الوجود نزعة صادقة للفكر العلمى . وبدلا من المحاولات غير المثمرة لاختراع آلية ما زهيدة جدا ، من الآليات التى كان باستطاعتها توفير القوى المؤثرة عن بعد بين الاجسام

المشحونة ، اخذ العلماء يبحثون بواسطة التجربة ، عن صيغة كمية لذلك النوع المعين من الفعل المتبادل . ومن الصعب ان نغالى فى تقدير اهمية هذا الانقلاب فى الشروع فى دراسة وبحث الطبيعة . وقد كان هذا بلا شك من اعظم الانقلابات فى علم الطبيعة ، الذى بدأ كما تحدثنا سابقا فى الفصل الخاص بقوى الجاذبية ، قبل نيوتن ولم ينته بعد موته بمدة طويلة . وتتلخص حقيقة هذا الانقلاب ، ان الناس توقفوا عن النظر الى المسألة العلمية بمنظار محاولات تحويل الظواهر غير العادية و « غير المفهومة » الى ظواهر عادية و « مفهومة » من وجهة نظر العقل السليم . واصبحت المسألة العلمية تتمثل فى البحث عن قوانين الطبيعة العامة المعبر عنها بالصيغ الرياضية ، التى يمكنها ان تضم مجموعة هائلة من الحقائق العلمية . واصبحوا يطلبون تفسيرا مبنيا على هذه القوانين ، للاشياء التى تعودنا عليها ، والتى تبدوا وكأنها لاتحتاج الى تفسير . وبذلك ظهر التحدى المباشر « للعقل السليم » . هذا التحدى الذى ادى فى بعض النظريات العلمية ، مثل نظرية الاحتمالات وميكانيكا الكم ، الى تناقض مباشر مع مثل هذا « العقل السليم » . ولكن مع الاسف لم تتوغل حقيقة هذا الاتجاه العلمى فى لحم ودم كافة الناس . وبناء على ذلك ، غالبا ما تظهر فى الوقت الحاضر أيضا ، كثرة من الاسئلة المحيّرة . وليس من السهل على الانسان ان يتأثر بذلك تأثيرا عميقا . ان هذا الانقلاب الذى يجب ان يحدث هنا فى وعى الانسان ، يمكن مقارنته بالانقلاب الذى سيحدث فى عقل الانسان المتوحش ، الذى يتوقع منه بعد معالجته ببعض الوسائل المعروفة مثل طرد الارواح الشريرة وغيرها ، ان يتحول بالضرورة الى العلاج ببعض الطرق السحرية مثل مراعاة القواعد

الصحية ، غلى الماء ، التطعيم ، المواد المضادة للحيويات وغيرها .

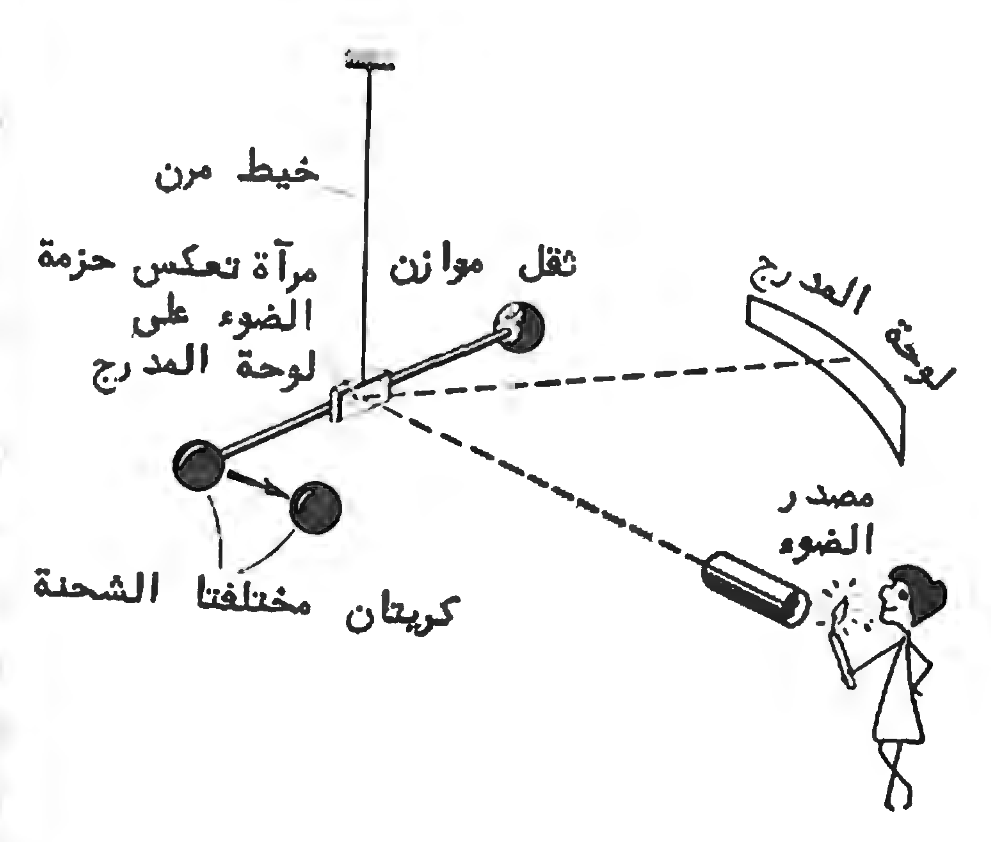
وكان من الضرورة كما يتضح ، ان نطرد ليس تلك المخلوقات الشبيهة بالانسان ، التى اعتاد عليها « العقل السليم » بل ان نطرد الميكروبات والفيروسات التى لا يمكن مشاهدتها دائما حتى تحت المجهر .

قانون كولون – ان اكتشاف الفعل المتبادل للشحنات الكهربائية الساكنة بالنسبة لبعضها البعض ، كان قد تم بالتأثير المباشر لافكار نيوتن ، وعلى الاخص قانونه المتعلق بالجاذبية العامة . ويمكن القول بان هذا الاكتشاف قد تحقق بدون اية صعوبات معينة . ففى منتصف القرن الثامن عشر ، ظهرت افتراضات تفيد بان قانون الفعل المتبادل بين الشحنات ، مماثل لقانون الجاذبية العامة . وكان اول من اثبت ذلك بالتجربة ، هو العالم الانجليزى كيفنديش . ولكن هذا العالم البارز ، كان يتميز بغرابة اطوار بارزة ايضا . لقد كان اخلاصه للعلم خياليا تماما . ولكى يختصر الوقت على سبيل المثال ، كان يتفاهم مع اهل بيته بواسطة علامات ثابتة المعنى على الدوام . ان كيفنديش لم ينشر ابحاثه الخاصة بالكهرباء وكانت الاوراق التى كتب عليها ابحاثه ، محفوظة فى مكتبة جامعة كمبريدج لمدة تزيد على المائة عام ، الى ان اخرجها من مدارجها العالم ماكسويل ثم قام بنشرها . والى ذلك الحين كان العالم الفرنسى كولون قد اكتشف قانون الفعل المتبادل بين الشحنات وبرهن على صحته ، ولازال يحمل اسمه منذ ذلك الوقت . وقد توصل كولون الى الهدف بطريقة اسهل ولكنها اقل دقة من طريقة كيفنديش . وسوف نتوقف عند تجارب كولون .

لقد ساعد على اكتشاف كولون لهذا القانون ، كون قوى الفعل المتبادل بين الشحنات ، كبيرة جدا . ولذلك لم يكن من الضرورى هنا استخدام اجهزة حساسة جدا ، كما فى حالة التأكد من قانون الجاذبية فى الظروف الموجودة على الارض . وقد ساعد جهاز بسيط يطلق عليه اسم الميزان الالتوائى (Forsional balance) فى الاجابة على السؤال المتعلق بكيفية تبادل الفعل بين الاجسام الساكنة المشحونة ، مع بعضها البعض .

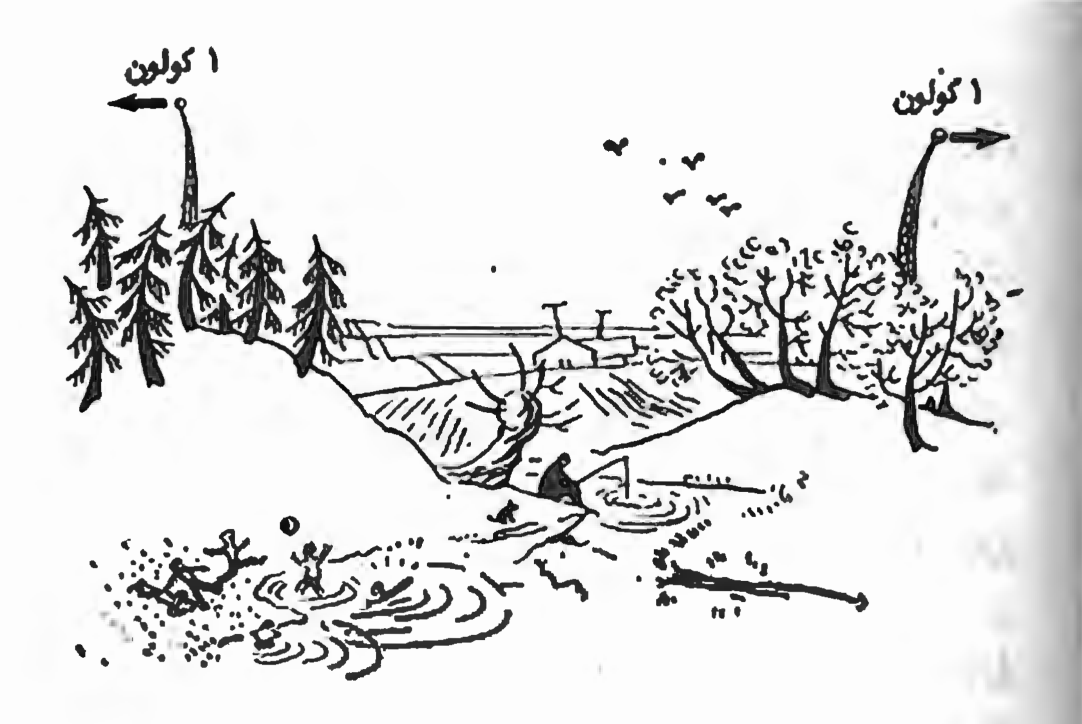
والميزان الالتوائى هو عبارة عن عصا معلقة من وسطها فى سلك مرن رفيع ، وقد ثبتت فى احد طرفيها كرية معدنية مشحونة ، وفى الطرف الثانى ثقل موازن . وقد وضعت كرية أخرى ساكنة بالقرب من الكرية الاولى . وقيست قوة الفعل المتبادل بفتل السلك ، وبحثت العلاقة بين القوة ومقدار الشحنات ومسافاتها . وكان فى المستطاع قياس القوة والمسافات . وتمثلت الصعوبة الوحيدة فى قياس الشحنة . وقد تصرف كولون ببساطة ودهاء . لقد قلل مقدار شحنة احدى الكريتين بعدد من المرات يساوى ٢ ، ٤ ، ... الخ بربطها بكرية مماثلة غير مشحونة . وهنا كانت الشحنة تتوزع بالتساوى على الكريتين ، مما قلل من قيمة الشحنة المبحوثة ايضا ، بنفس النسبة المعروفة . وفى نفس الوقت كان يلاحظ كيفية تغير القوة .

ان تجربة كولون ادت الى اكتشاف قانون يذكرنا الى درجة مدهشة بقانون الجاذبية ، وهو يفيد بان قوة الفعل المتبادل بين جسمين ساكنين مشحونين ، تتناسب تناسبا طرديا مع حاصل ضرب شحنتيهما ، وعكسيا مع مربع المسافة بينهما . ويجب ان نلاحظ فى الحال ، بان قانون كولون ، مثل قانون نيوتن ايضا ،



يصح فقط بالنسبة للشحنات « النقطية » اى للشحنات التى تعتبر حجومها صغيرة جدا بالمقارنة مع المسافات الفاصلة بينها . وعامة تعتمد القوة على الابعاد الهندسية وشكل الاجسام المشحونة . وتسمى هذه القوة عادة بقوة كولون .

وقد ساعد اكتشاف قانون كولون لاول مرة ، على بحث الشحنة باعتبارها كمية معينة المقدار — اى يمكن قياسها . ولاجل ذلك يجب ان تكون لدينا وحدة للقياس . وهذه الوحدة تمكننا من اثبات قانون كولون . ذلك لأن خلق معيار للشحنة ، مثل معيار او مقياس الطول وهو المتر ، غير ممكن عمليا بسبب التسرب الدائم للشحنة . وكان من الطبيعى ان تتخذ شحنة الالكترون كوحدة لقياس الشحنات (وقد تم ذلك الآن فى مجال الفيزياء الذرية) ، ولكن فى ذلك الوقت ، لم يعرف اى شىء عن الطبيعة او البنية



المتقطعة للكهرباء . وقد اتفق على اعتبار وحدة الشحنة ، مساوية لتلك الشحنة التى تؤثر على شحنة مساوية لها فى الفراغ على مسافة سم بقوة قدرها وحدة واحدة ـ دين واحد* . وفى هذا النظام من الوحدات القياسية ، نجد ان شحنة الالكترون تساوى ٤٫٨ × ١٠-١ .

وهذه القيمة صغيرة جدا جدا .

ان قوى كولون تتناقص ببطء مع زيادة المسافة ، وتنتسب لى القوى البعيدة المدى ، مثل قوى نيوتن ايضا . والى جانب تشابه القانونين ، توجد اختلافات هامة ايضا . وتتمثل قبل كل شىء فى وجود شحنات ذات علامتين مختلفتين ، فى الوقت الذى تكون فيه كتلة الجاذبية موجبة العلامة دائما . وبالاضافة الى تجاذب الشحنات الكهربائية ، هناك تنافر الشحنات ايضا .

---

* غالبا ما تستخدم فى التطبيق العملى وحدة الشحنة التى هى الكولون ، والتى تزيد على الدين بمقدار ٣ + ١٠٩ مرة .

كما لا توجد قوى كولونية مؤثرة بين الاجسام المتعادلة ، لذلك لا تعتبر شاملة جدا مثل قوى الجاذبية العامة . ولا تظهر شموليتها الا من ناحية واحدة هى ان نفس القانون الواحد بالذات ، ينطبق على تبادل الفعل لكل من الاجسام الماكروسكوبية المرئية والجسيمات الاولية المنفردة . وقد اتضح ذلك مباشرة بعد ان اكتشفت هذه الجسيمات الدقيقة بالذات . ومن وجهة النظر العصرية ، يمكن المصادقة على صحة قانون كولون بالنسبة للشحنات الماكروسكوبية المرئية ، لسبب واحد فقط هو ان هذا القانون ينطبق مباشرة على الجسيمات الدقيقة الاولية .

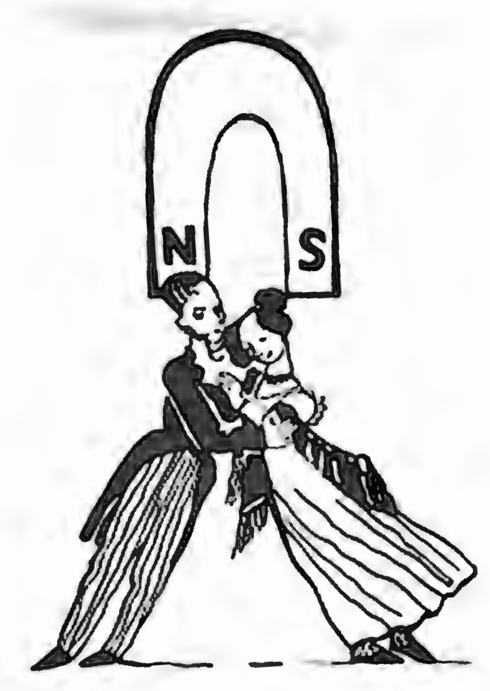
وهناك خاصية مهمة جدا للقوى الكولونية ، تتمثل فى قيمتها بالذات . ان القوى الكهربائية الموجودة بين الجسيمات الاولية المنفردة ، كما ذكرنا سابقا ، هى اكبر من قوى الجاذبية بما لا يقاس . ولو امكننا نقل ١ ٪ من الالكترونات من شخص الى آخر ، فسوف تكون الجاذبية الموجودة بينهما على امتداد ذراع واحد فقط ، اكبر من وزن الكرة الارضية . ولكن الفعل المتبادل بين الجسيمات الدقيقة المشحونة ، كبير الى درجة عظيمة جدا ، بحيث لا يمكن معه خلق شحنة كبيرة جدا فى جسم صغير . وبتنافر الجسيمات عن بعضها البعض بقوة كبيرة ، لا يمكنها ان تثبت على الجسم . وليست هناك اية قوى اخرى فى الطبيعة ، فى استطاعتها عند هذه الظروف ، ان تعوض عن تنافر كولون . وهذا هو احد الاسباب الذى جعلنا لا نصادف فى الطبيعة اى تجاذب او تنافر ظاهرين ، بين الأجسام المشحونة الكبيرة . وبالاضافة الى ذلك ، نجد ان الاجسام المشحونة تبدى ميلا كبيرا جدا نحو التعادل . وهى تستوعب بلهفة كبيرة ، الشحنات المتعاكسة العلامة ، بجذبها نحوها .

ان اكثر الاجسام الموجودة فى الطبيعة ، متعادلة كهربائيا . وبالمناسبة نجد ان الارض بالذات ، مشحونة بشحنة سالبة مقدارها 6×10^5 كولون . والقوى الكولونية بشكلها الخالص ، تؤثر بصورة اساسية فى داخل الذرات المتعادلة وفى النويّات المشحونة للذرات . ولكننا سنتحدث عن ذلك فيما بعد .

ونشير هنا أيضا ، الى ان التعرف على قانون كولون ، يعتبر خطوة اساسية اولى نحو دراسة خواص الشحنة الكهربائية ، وهو بذلك يساعدنا على تفسير فحوى مفهوم الشحنة الكهربائية بالذات . ان وجود الشحنة الكهربائية لدى الجسيمات الاولية او الاجسام العادية ، يدل على انها تتبادل الفعل مع بعضها البعض ، طبقا لقانون كولون .

٤ ـ الفعل المتبادل بين الشحنات الكهربائية المتحركة

الفعل المتبادل بين المغنطيسات ـ من الصعب ان نعثر على شخص لم يدهش فى طفولته لخواص المغنطيس المدهشة . ان المغنطيس يستطيع عبر الفراغ مباشرة (بدون مساعدة الهواء) ان يجذب قطع الحديد الثقيلة . ويمكن ان نبنى من المسامير والدبابيس ، ضفائر زهور كاملة . ومن المدهش بنفس الدرجة ايضا ، سلوك الابرة المغنطيسية للبوصلة ، التى تحاول بعناد الاتجاه نحو الشمال مهما ادرنا البوصلة محاولين ان نجعلها تضل اتجاهها . وربما استطاعت خواص الدوامة العجيبة وحدها ، ان تنافس المغنطيس من حيث التأثير على الخيال او المخيلة .



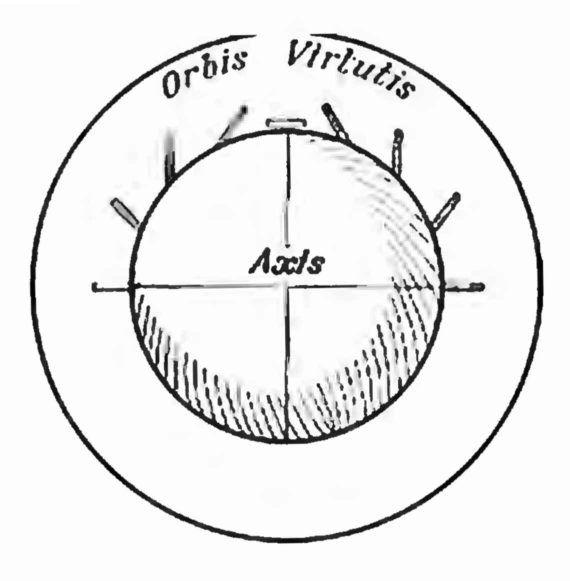
ان جاذبية المغنطيسات تشبه جاذبية المواد المكهربة على بعد مسافة معينة . وليس من العبث ان نجد بان الناس قد خلطوا بينهما على مدى عصور كثيرة . وقد استطاع العالم جلبرت فى نهاية القرن السادس عشر ان يثبت بانهما تختلفان عن بعضهما البعض . وبالفعل ، لا يحتاج المغنطيس الى عمليات تمهيدية مثل الاحتكاك ، لاجل الجذب . وهذه الخاصية لا تنفذ بمرور الزمن ، كما هو الحال بالنسبة للاجسام المكهربة ، اذا لم نسخنه بشدة او ننفضه .

والمغنطيسات يمكن ان تتجاذب او تتنافر على حد سواء ، مثل الشحنات تماما . ولكن الامر الغريب ، هو ان احدا لم يستطع بتاتا ان يفصل القطب الشمالى للمغنطيس عن قطبه الجنوبى ويحصل على قطب مغنطيسى مستقل ، بالرغم من بذل الجهود الكبيرة فى هذا الصدد .

ان جاذبية المغنطيسات تفوق عادة بكثير جاذبية الاجسام المكهربة . والظاهر انها لهذا السبب بالذات ، قد اتصفت حقيقة بخواص عجيبة ، لم تتصف بها الجاذبية الكهربائية الاضعف منها . وعلى سبيل المثال ، ظن الناس ان باستطاعة المغنطيس ان يشفى المرضى * ويصالح الزوجة مع زوجها وغير ذلك . حتى ان الكثير

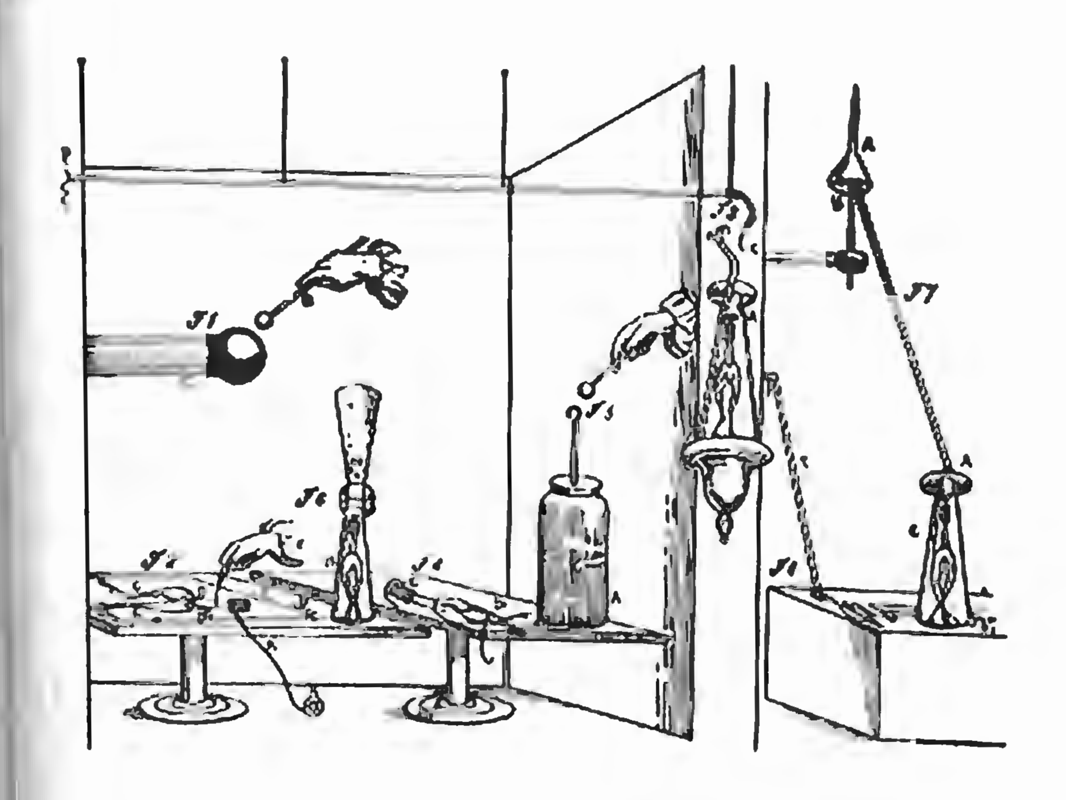
---

* ان مسألة تأثير المجال المغنطيسى على النباتات والحيوانات تبحث الآن باهتما جديد .



يعتقد فى الوقت الحاضر فى القوة العلاجية الشافية « للأساور المغنطيسية » . وكما هو الحال بالنسبة للجاذبية الكهربائية ، لم تجرى ابحاث علمية طويلة الامد لدراسة خواص الفعل المغنطيسى المتبادل . ما هى مثلا اهمية الرأى المدهش القائل بان تأثير المغنطيس يتوقف عندما ندلكه بالثوم . ولم تبنى ابحاث المغنطيسات على اساس علمي دقيق ، الا ابتداء من ابحاث جلبرت . لقد حزر جلبرت بالذات ، ان الكرة الارضية هى عبارة عن مغنطيس هائل الحجم ، وهذا هو السبب الذى جعل الابرة المغنطيسية تأخذ اتجاها ثابتا معينا . وقد استطاع جلبرت ان يؤكد صحة حدسه هذا ، وذلك بالتجربة حيث مغنط كرة حديدية كبيرة (اطلق عليها اسم « تيريلا » اى الارض الصغيرة) وراقب تأثيرها على الابرة . وقام جلبرت بتوضيح موقع المغنطيسات الصغيرة بالنسبة لتلك الكرة الحديدية ، فى احد الاشكال التى احتواها كتابه المعنون « حول المغنطيس » .

وقد بحث كولون الفعل المتبادل للمغنطيسات من الناحية الكمية ، باستخدام نفس الطريقة التي استخدمها عند دراسة وبحث



الفعل المتبادل للشحنات . وهو اكتشف قانون الفعل المتبادل لاقطاب المغنطيسات الطويلة ، باعتبار الاقطاب اماكن لتركيز الشحنات المغنطيسية — المماثلة للشحنات الكهربائية . وقد فسر كولون استحالة الفصل بين قطبي المغنطيس الشمالى والجنوبى ، بعدم قابلية الشحنات المغنطيسية المتعاكسة العلامة فى داخل الجزيئات المادية ، على الانتقال بحرية من جزىء الى آخر .

وقد امكن التفكير (كما فكر كولون بالذات) فى اننا هنا امام نفس القانون الاساسى الذى صادفنا فى حالة الفعل المتبادل بين الشحنات الكهربائية الساكنة . وبادخال القيمة الجديدة — الشحنة المغنطيسية ، اعتقد كولون بان اكتشاف قانون الفعل المتبادل للشحنات المغنطيسية ، يحل نهائيا مسألة المغنطيسية . ولم تكن لديه اية اسباب ظاهرة للشك في ذلك . وقد تصرف كولون

استنادا الى تقليد متبع سابقا — وهو قانون نيوتن للفعل المتبادل بين كتل الجاذبية . ولكن لماذا كان فى استطاعة هذا « التقليد المتبع » فى حالة معينة ان يؤدى الى اكتشاف اساسى جديد للقانون ، بينما عجز عن ذلك فى حالة اخرى ؟

التيار الكهربائى و « الكهرباء الحيوية » — لقد ظهر كل شىء فى حقيقة الامر ، اصعب مما كان يبدو بكثير . وتمكنت الطبيعة هنا ان تقدم للباحثين احدى مفاجآتها الدورية ، التى تزخر بها وتقدمها بسخاء بالغ . ومن الصعب على مخيلة الانسان ان تلحق بها او تدركها . ان حل مسألة المغنطيسية اتى من ناحية اخرى تماما . وقد حدث ذلك بعد ان تعلم الناس كيفية تكوين او خلق تيار كهربائى — تيار من الشحنات الكهربائية المتحركة — ذى قوة كبيرة جدا ، يستمر لفترة زمنية طويلة الى حد كاف . ولا تخلو قصة هذا الاكتشاف من الطرافة ، وهى مرتبطة بالبحث عما يسمى بـ « الكهرباء الحيوية » .

وقد بدأ كل شىء من التفريغ الكهربائى لوعاء « ليدن »* (Leyden Jar) — الذى يعتبر اول مكثف كهربائى . وعندما اكتشف العالم موشنبروك هذه الظاهرة ، كان هو اول من عرض نفسه بالذات لتأثير التفريغ الكهربائى . وقد كتب موشنبروك بهذا الصدد يقول : « ان اليد والجسم برمته يرتجّان بصورة مخيفة للغاية ، بحيث لا استطيع التعبير عنها . وبعبارة مختصرة لقد خيّل لى ان نهايتى اقتربت » . حتى انه نصح اصدقاءه « بعدم اقدامهم بالذات على اعادة هذه التجربة الجديدة والمخيفة بتاتا » .

---

* وهو عبارة عن وعاء زجاجي لتكثيف الشحنات الكهربائية الساكنة — المترجم .

ولكن فى الحقيقة ليست هذه التجربة مخيفة جدا بالشكل الذى تصوره موشنبروك : ان التيار الكهربائى القصير الاجل ، الناجم عند تفريغ الوعاء المذكور ، لا يمثل خطورة على حياة الانسان . ومهما كان عليه الامر ، نجد ان التأثير الفسيولوجى للتفريغ الكهربائى قد جذب اليه فى الحال اهتماما عاما من قبل الناس . والى جانب الكثير من الملاحظات القيمة ، ظهر عدد كبير من النظريات الساذجة التى تفسّر الحياة والمرض والموت ، بتأثير الكهرباء . وقد تخللت هذه الاكتشافات المهمة الصحيحة ، اضاليل مضحكة الى ابعد حد . وعلى سبيل المثال ، فسّر بصورة صحيحة التأثير الخطر للرعّاد وبقية الاسماك الكهربائية ، باعتباره ظاهرة مماثلة لظاهرة التفريغ الكهربائى لوعاء « ليدن » . ولكن فى وقت واحد مع هذه الكهرباء « الحيوية » الموجودة بالفعل ، تم اكتشاف ناس وطيور وحيوانات داجنة كهربائية . وهنا ضللت القائمين بالتجارب ، تلك الكهرباء التى تنشأ عند احتكاك ملابس الناس وريش او صوف الحيوانات .

وفى هذه الظروف، ساعدت التجارب المحكمة الاتقان التى اجراها العالم المجرب البارز جالفانى ، على انجاز اكتشاف اساسى . وفى الحقيقة لم يفلح جالفانى نفسه فى تفسير تجاربه الخاصة تفسيرا صحيحا ، ولكن تبين ان العالم فولتا الذى اعاد تلك التجارب فيما بعد ، كان مؤهلا لذلك الاكتشاف العظيم ، الذى دفع تطور العلم الخاص بالمغنطيسية الكهربائية برمته ، دفعة قوية الى الامام .

ان الاكتشاف الاول ظهر بالصدفة . وقد كتب جالفانى بهذا الصدد ما يلى : « شرّحت ضفدعة ثم حنطتها كما مبين فى

الشكل (الرسم F 2) ، وكنت اقصد شيئا مختلفا تماما ، عندما وضعتها على المنضدة التى كانت توجد عليها ايضا مكنة كهربائية (الرسم F 1) بصورة منفصلة تماما عن موصل المكنة وعلى مسافة بعيدة من المكنة بالذات . وعندما قام احد مساعدى صدفة ، بلمس اعصاب الفخذ الداخلية للضفدعة لمسة خفيفة جدا برأس مبضعه ، وجد ان كافة عضلات اطرافها بدأت حالا فى التقلص الى درجة كبيرة ، بحيث بدت وكأنها اصيبت باقوى تشنجات توافقية (حدث هذا فى اللحظة التى انطلقت فيها شرارة كهربائية من موصل المكنة الكهربائية – ملاحظة المؤلف) . ويتابع جالفانى حديثه قائلا : عندئذ تملكتنى حمية خارقة ورغبة شديدة فى بحث هذه الظاهرة والكشف عن بواطنها واسرارها » .

وسرعان ما لاحظ جالفانى بان تقلص كف الضفدعة المتصل بمانعة الصواعق حدث اثناء الصاعقة ، وحتى عند ظهور الغيوم الرعدية .

وفى الواقع ، لوحظت فى هذه التجارب لاول مرة ، ظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى (Electromagnetic induction) ، التى اكتشفها فيما بعد العالم فاراداى . ولكن لم يكن فى المستطاع تقديم تفسير صحيح لهذه الظاهرة فى ذلك الوقت . وكان الاكتشاف الذى دفع تطور علم المغنطيسية الكهربائية دفعة كبيرة الى الامام ، متماثلا فى امر آخر .

لقد حاول جالفانى الكشف عن تأثير كهربائية الجو فى حالة الطقس الحسن . ولاجل ذلك ، علق ضفدعة محنطة على سياج حديدى ، وكان الخطاف النحاسى الذى علقت فيه يمر عبر النخاع الشوكى . وبضغط الخطاف والصاقه بالسياج الحديدى ، لاحظ

جالفانى تقلصا شديدا فى عضلات الضفدعة . ولحسن الحظ تمكن من الحدس بان كهربائية الجو لا تلعب اى دور فى هذه المسألة . وكان التقلص يبدو واضحا دائما ، كلما لمس كف الضفدعة بسلكين معدنيين مختلفين ، متصلين مع بعضهما البعض .

وبعد ان عرف جالفانى بان تقلص العضلات يحدث عند التفريغ الكهربائى ، اعتقد انه قد اكتشف الكهرباء الحيوية ، التى تتولد فى الكائنات الحية. واعتقد جالفانى ايضا، بان الموصل المعدنى يساعد الكهرباء على الانتقال بسرعة من احدى اقسام العضلة الى الاقسام الاخرى ، مما يؤدى الى تقلصها .

وقد اوجد التفسير الصحيح للظاهرة المكتشفة ، العالم فولتا الذى ينتمى الى وطن جالفانى . وهذا التفسير دفع فولتا الى اختراع اول مصدر للتيار المستمر . وفى هذا الامر بالذات ، تمثلت أساسا كل اهمية اكتشاف جالفانى بالنسبة لعلم الفيزياء .

وقد الهم فولتا حدس رائع . ان كف الضفدعة ، ما هو الا عبارة عن « الكترومتر حىّ » حساس جدا ، تزيد حساسيته على اى الكترومتر آخر فحسب . اما مصدر التيار الكهربائى هنا ، فيتمثل فى الاتصال الموجود بين السلكين المعدنيين المختلفين ، المتلامسين مع سائل الانسجة الحية الموصل للكهرباء . ومن هنا استنبط فولتا فكرة اول خلية جلفانية (Galvanic cell) وهى عبارة عن مجموعة من الحلقات او الاقراص النحاسية والزنكية ، تتخللها قطع من الجوخ المنقوع بالماء المالح . وكان ذلك هو « عمود فولتا » او البطارية العمودية ، وقد قال حول ذلك اراجو ما يلى : « انه اروع جهاز اخترعه الناس على الاطلاق ، بما فى ذلك التلسكوب والمكنة البخارية » .

ومن الطريف ان فولتا نفسه وكذلك العلماء المعاصرين له ، لم تكن لديهم جميعا اية فكرة وان كانت سطحية عن كيفية وسبب اشتغال الجهاز المذكور . وبالمناسبة ، لم يكن هذا الجهاز مهما جدا بالنسبة لتطور العلم في ذلك الوقت . والشيء الاساسي هنا ، هو ان عمود فولتا ، ساعد في الحصول على تيار كهربائي مستمر ، اى كانت له قابلية تحريك الشحنات الكهربائية من داخل الموصل . ولم يظهر تفسير لسلوكه هذا الا بعد فترة طويلة من الزمن . وسوف لا نتوقف نحن ايضا ، للتحدث عن ذلك .

اكتشاف إرستيد — وقد كان عمود فولتا بالفعل بمثابة « قرن الخصب » حيث اخذت الاكتشافات الجديدة تتوالى الواحد بعد الآخر دون انقطاع . وقد استطاع العالم ديفي ان يحلل القلى (Alkali) بواسطة التيار الكهربائي ويحصل منه على عنصر الصوديوم الفلزى والبوتاسيوم . واخترع العالم بتروف القوس الكهربائي وغير ذلك . واخيرا اكتشف العالم ارستيد عام ١٨٢٠ اكتشافا مهما للغاية . بعد ان وضع ارستيد ابرة مغنطيسية بالقرب من موصل يحتوى على تيار كهربائي ، وجد ان الابرة تنحرف .

وبالمناسبة لم يكن هذا الاكتشاف وليد الصدفة . فقبل ذلك في عام ١٨٠٧ قرر ارستيد ان يدرس مسألة تأثير الكهرباء باى شكل من الاشكال على المغنطيس « ان المثابرة التي حاول بها الوصول الى هدفه ، اوصلته بنجاح الى اكتشاف حقيقة علمية لم يفترض احد غيره وجودها ، حتى من بعيد ، ولكنها بعد ان اشتهرت جلبت بسرعة انتباه كل العلماء الذين تمكنوا من تقدير اهميتها وقيمتها » (فارادای) .

وقد تبين ان هناك علاقة مباشرة بين القابلية العجيبة لقطع

الحديد على التجاذب عن بعد ، التى اكتشفها رعاة القرون السحيقة صدفة ، وبين رجفة كف الضفدعة فى تجارب جالفانى . لقد اكتشفت صلات قربى وثيقة بين المغنطيسية والكهرباء ، وهذا ما اثبتته التجربة العملية المباشرة . وقد كانت الابرة المغنطيسية غير متأثرة تماما ، بالشحنات الساكنة . وقد كان باستطاعة الشحنات المتحركة فقط ، ان تبعث فى الابرة « الاحساس بالقربى » . ان المغنطيسية لا ترتبط بالكهرباء الاستاتية ، بل ترتبط بالتيار الكهربائى .

تبادل الفعل المغنطيسى هو تبادل الفعل بين التيارات الكهربائية —

لقد ساعد اكتشاف ارستيد فى الحال تقريبا ، على حل لغز المغنطيسية والعثور فى نفس الوقت على نوع آخر اساسى — بالاضافة الى ذلك الذى اكتشفه كولون — من انواع الفعل المتبادل بين الشحنات الكهربائية . لقد قام بذلك كله شخص واحد فقط — هو أمبير — خلال عدة شهور فقط ، بعد تعرفه مباشرة على تجربة ارستيد . وطريقة تفكير هذا الانسان العبقرى ، مسجلة فى مقالاته التى نشرتها على التوالى أكاديمية العلوم الفرنسية . فى البداية بنتيجة الانطباع المباشر الذى تركته مراقبة الابرة المغنطيسية المنحرفة بالقرب من التيار الكهربائى ، افترض أمبير ان مغنطيسية الارض ناجمة عن التيارات التى تدور حولها متجهة من الغرب الى الشرق . وقد تمت هنا الخطوة الاساسية . ويمكن الآن تفسير الخواص المغنطيسية للجسم ، بوجود تيار كهربائى يدور فى داخله . وبعد ذلك توصل أمبير الى نتيجة عامة تتلخص فيما يلى : ان الخواص المغنطيسية لاى جسم كان ، تحدد بالتيارات الكهربائية المقفلة التى تدور فى داخله . ان هذه الخطوة الحاسمة ابتداء من امكانية تفسير الخواص المغنطيسية بوجود التيارات ، الى التأكيد القاطع

على ان التأثير المغنطيسى هو عبارة عن تأثير التيارات الكهربائية ، تشهد على الشجاعة العلمية الفائقة لأمبير .

واستنادا الى فرضية أمبير ، هناك تيارات كهربائية اولية ، تدور داخل الجزيئات التى تتألف منها المادة . واذا كانت هذه التيارات مرتبة بصورة عشوائية ، بالنسبة لبعضها البعض ، فان تأثيرها يعوض بصورة متبادلة ، ولا تظهر اية خواص مغنطيسية فى الجسم . وفى حالة المغنطة ، تكون التيارات الاولية فى الجسم ، متجهة بصورة مضبوطة بدقة ، بحيث يمكن جمع تأثيراتها مع بعضها البعض .

وهناك فى المكان الذى رأى فيه كولون اقطاب مغنطيسية غير منفصلة للجزيئات ، كانت هناك ببساطة تيارات كهربائية مقفلة . وهذا اتضح تماما سر عدم انفصال الاقطاب المغنطيسية . اذن ليست هناك شحنات مغنطيسية ، ولا يوجد شيء قابل للقسمة او الفصل . والفعل المغنطيسى المتبادل لا يعتمد على شحنات مغنطيسية معينة ، مثل الشحنات الكهربائية ، بل على حركة الشحنات الكهربائية ـ التيار .

ومن الطريف ان نجاح فكرة وحدة قوى الطبيعة ، لم يتضح بتاتا بهذه الصورة الجلية ، التى اتضح فيها عند صياغة القوانين الاساسية للمغنطيسية الكهربائية . ان ارستيد الذى الهمته هذه الفكرة ، قرب الابرة المغنطيسية من موصل ذى تيار كهربائى ، اما أمبير فقد تمكن بحدس باطنى ان يرى فى داخل قطعة الحديد الممغنطة ، تيارات كهربائية . وهذه الفكرة بالذات ، قادت فاراداى فيما بعد ، الى اكتشاف عظيم جديد ـ اكتشاف الحث المغنطيسى الكهربائى .

قانون أمبير – ان أمبير ليس استطاع فقط ان يعرف انه عند بحث ودراسة الفعل المتبادل المغنطيسى ، يجب قبل كل شيء بحث الفعل المتبادل بين التيارات الكهربائية ، بل قام فى الحال بالبحث التجريبى لهذا الفعل المتبادل . وقد اثبت على وجه الخصوص بان التيارات ذات الاتجاه الواحد تتجاذب مع بعضها البعض ، والتيارات المتعاكسة الاتجاه تتنافر . اما الموصلات المتعامدة على بعضها البعض فانها لا تؤثر فى بعضها البعض . وفى نهاية المطاف تكللت جهوده المضنية بالنجاح التام . لقد اكتشف أمبير قانون الفعل الميكانيكى المتبادل بين التيارات الكهربائية ، وحل بذلك مسألة تبادل الفعل المغنطيسى . ان قانون الفعل المتبادل بين اقطاب المغنطيسات ، الذى اعتبره كولون اساسيا ، اصبح واحدا من الابحاث اللامتناهية لاكتشاف أمبير . وقد كتب ماكسويل عن أمبير قائلا : « ان كل الاشياء مجتمعة ، والنظرية مع التجربة ، بدت وكأنها تامة النضوج وتامة التجهيز من رأس (كهرباء نيوتن) . وهذه الابحاث تامة الصيغة ومثالية الدقة وملخصة فى صيغة يمكن ان تستنتج منها كافة الظواهر ، ويجب ان تبقى الى الابد بمثابة صيغة اساسية للديناميكا الكهربائية » .

وسوف لا نتحدث بالتفصيل عن تلك التجارب التى قادت أمبير الى اكتشاف الفعل المتبادل للتيارات ، كما فعلنا بالنسبة للحالة البسيطة التى لا تقارن بهذه ، الخاصة بالفعل المتبادل بين الشحنات الساكنة . ونحن لسنا بحاجة الى صياغة قانون أمبير بالنسبة للتيارات ، كما فعل هو نفسه بالذات . وذلك لان التيار الكهربائى ما هو الا عبارة عن تيار من الشحنات الكهربائية المتحركة . وهذا يعنى ان الفعل المتبادل بين التيارات ، ما هو الا عبارة عن

فعل متبادل بين الشحنات المتحركة . وهكذا ، بالاضافة الى فعل كولون المتبادل ، الذى يحدد فقط بحجم الشحنات والمسافة الفاصلة بينها ، فانه عند حركة الشحنات ، يبرز نوع خاص جديد من انواع الفعل المتبادل . وهذا النوع لا يتحدد فقط بحجم الشحنات والمسافة الفاصلة بينها ، بل وكذلك بسرعات حركة الشحنات . وقد اكتشفت لاول مرة فى تاريخ الفيزياء ، قوى اساسية تعتمد على السرعات .

ان قوة الفعل المتبادل بين الشحنات المتحركة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب هذه الشحنات ، وعكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بينها ، كما فى قانون كولون ، ولكن بالاضافة الى ذلك ، تعتمد ايضا على سرعات هذه الشحنات واتجاه حركتها * .

ويكمن فى اكتشاف هذا القانون ، المغزى الكامل للجهود المبذولة سابقا فى هذا المضمار .

ان القوى المغنطيسية تختلف اختلافا جوهريا عن القوى الكهربائية من ناحية اخرى ايضا . انها لا تتميز بطابع مركزى مثل قوى كولون وقوى الجاذبية . وقد ظهر ذلك فى تجارب ارستيد : ان الابرة المغنطيسية لم تنجذب نحو الموصّل ولم تتنافر معه ، بل كانت تدور او تنحرف فقط . ان القوى التى اكتشفها أمبير تؤثر على الجسيمات المتحركة فى الاتجاه العمودى على سرعاتها .

وقوى الفعل المغنطيسى المتبادل للجسيمات ، اضعف بكثير من القوى الكولونية فى الظروف العادية . الا فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تقترب سرعات الجسيمات من سرعة الضوء ، عندئذ

---

* يجب طبعا ان نأخذ فى الاعتبار ان هذه القوى تؤثر الى جانب القوى الكولونية التى لا تختفى اثناء الحركة مطلقا .

تصبح متساوية مع بعضها البعض . ومع ذلك يمكن ان تصل قيمة الفعل المتبادل للتيارات ، الى حد كبير جدا . ويكفى ان نتذكر بان هذه القوى بالذات تحرك عضو انتاج المحرك الكهربائي (armature) ، حتى من اكبر الانواع . ولا يمكن العثور فى التكنيك الحديث تقريبا ، على اية قوى اكبر من القوى الكولونية . ويتلخص الامر كله فى اننا نتمكن من خلق تيارات كبيرة جدا ، اى يمكننا (بصورة بطيئة نسبيا) ان نحرك كمية هائلة من الالكترونات فى الموصلات . اما فيما يتعلق بخلق او تكوين شحنات كهربائية استاتية كبيرة جدا ، فهو امر غير ممكن التحقيق . ومهما بدا هذا الامر غريبا ، نجد بان الافعال المتبادلة المغنطيسية فى حقيقة الامر ، تلعب دورا رئيسيا فى التكنيك او الصناعة فقط (فى المحركات الكهربائية مثلا) . اما فى الطبيعة ، فان دورها كما سنرى فيما بعد بالمقارنة مع القوى الكولونية ، هو دور متواضع بما فيه الكفاية . ذلك لانها تمثل قوى الفعل المتبادل للتيارات ، التى قلما تصل الى قيمة كبيرة فى الطبيعة . ان اكتشاف أمبير يوسع افكارنا المتعلقة بالشحنة الكهربائية . ونتعرف هنا على خاصية اساسية جديدة للشحنات ، هى قابليتها لتبادل الفعل مع القوى المعتمدة على سرعات الحركة .

٥ ـ التأثير القصير المدى
او التأثير على مسافة معينة

التأثير القصير المدى ـ لقد كانت قوانين الفعل المتبادل للشحنات الساكنة والمتحركة قد اكتشفت من قبل . ولكن ذلك لم يقدم الاجابة الوافية على السؤال المتعلق بكيفية انتقال القوة من

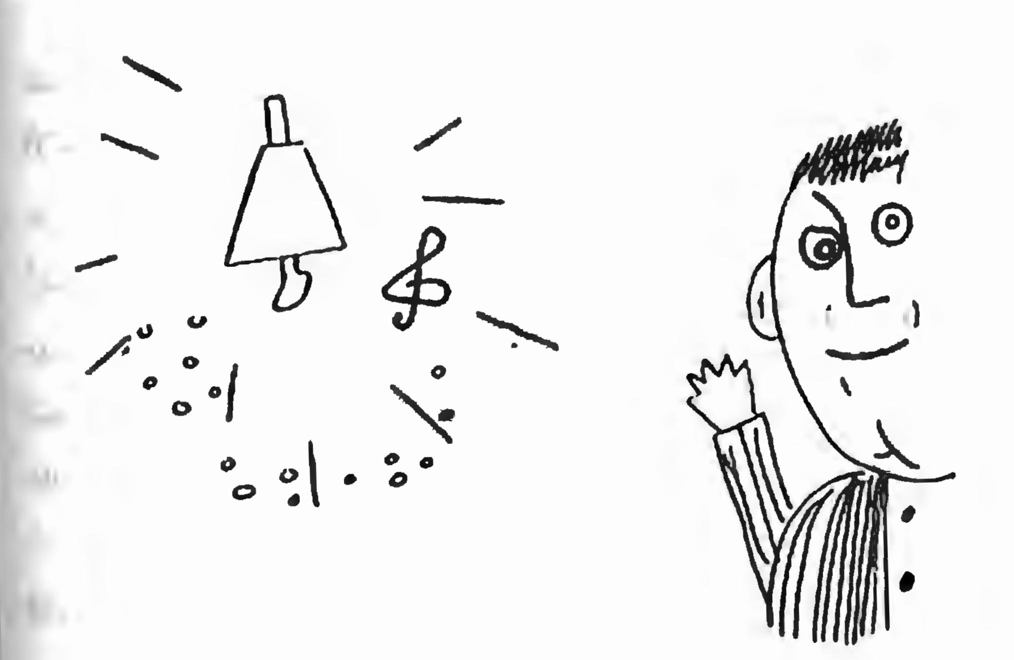
شحنة الى اخرى ، مثلما لم يقدم اكتشاف قانون الجاذبية العامة الاجابة على السؤال المتعلق بطبيعة قوى الجاذبية . وقد تحدثنا سابقا عن المسائل التى تنجم هنا ، والتى تعتبر مسائل عامة بالنسبة لكل من الجاذبية والمغنطيسية الكهربائية . ولكن هذه المسائل مهمة للغاية ، بحيث تستحق اعادة النظر فيها وبحثها بصورة اكثر تفصيلا . لاسيما وانها برزت بروزا كاملا لاول مرة ، وعلى الاخص عند بحث الظواهر المغنطيسية الكهربائية .

وربما لم يستطع احد ان يكشف عن حقيقة الامر بهذا الوضوح التام ، كما كشف عنه ماكسويل فى مقالته « حول التأثير عن بعد » .

ويقول ماكسويل : اذا كنا نلاحظ تأثير احد الاجسام على جسم آخر ، يقع على مسافة معينة منه ، فقبل ان نفترض بان هذا التأثير هو تأثير مباشر رأسا ، فاننا نميل فى البداية الى مبعرفة هل توجد بين الجسمين اية علاقة مادية ، مثل الخيوط ، القضبان و ... الخ . واذا وجدت مثل هذه العلاقات فاننا نفضل تفسير أو إيضاح تأثير احد الجسمين على الآخر ، بواسطة حلقات الوصل المتوسطة هذه .

وعلى سبيل المثال عندما يقوم سائق احد الباصات القديمة غير المستخدمة الآن ، بتدوير المقبض الذى يفتح الباب ، نجد بان الاقسام المتعاقبة من القضيب الواصل ، تنضغط على نفسها ثم تبدأ بالحركة الى ان ينفتح الباب فى النهاية* . اما فى الباصات الحديثة فنجد بان السائق يجعل الباب تنفتح بتوجيه الهواء المضغوط

* ان ماكسويل لم يأت بهذا المثال بطبيعة الحال ، وذلك لعدم وجود اية باصات فى الزمن الذى عاش فيه ماكسويل .



فى داخل المكبس الذى يتحكم فى آلية الباب . ومن السهل ايضا ان نستخدم لهذا الغرض تركيبة مغنطيسية كهربائية ، بارسال الاشارات اليها عن طريق الاسلاك . وفى كافة هذه الطرق الثلاث لفتح الباب ، يوجد شيء مشترك ، يتمثل فى وجود خط اتصال مباشر بين السائق والباب ، تتم فى كل نقطة من نقاطه ، عملية فيزيائية معينة . وبواسطة هذه العملية يحدث انتقال الفعل او التأثير ، ليس توا بل بسرعة تهائية مختلفة نوعا ما .

ويشير ماكسويل فى حديثه الى ان التأثير بين الاجسام على بعد مسافة معينة ، يمكن تفسيره فى حالات كثيرة بوجود عوامل وسيطة معينة تقوم بنقل التأثير ، ووجود هذه العوامل واضح تماما . والآن أليس من المعقول ان يوجد هناك عامل وسيط معين ، فى الحالات التى لا نلاحظ فيها اى وسط او وسيط بين الاجسام المتبادلة الفعل مع بعضها البعض ؟ فى هذا الامر بالذات يتلخص المغزى العام للفعل القصير المدى (او المدى القصير) .

ويجب القول بعبارة اخرى ، ان الجسم يؤثر فى المكان الذى لا وجود له فيه .

ان الذى يجهل خواص الهواء ، يمكن ان يفكر بان الجرس الرنان يؤثر مباشرة على آذاننا ، اما انتقال الصوت عن طريق وسط غير مرئى ، فهو شيء غير مفهوم تماما . ولكننا نستطيع هنا ان نبحث بالتفصيل ، عملية انتشار الموجات الصوتية برمتها ، ونحسب سرعتها .

ويقول ماكسويل ، ان الكثير من العقول غرقت فى التفكير والتأمل حول التيارات الخفية التى تحيط بالكوكب* والمغنطيسات وحول الاجواء غير المرئية التى تحيط بالاجسام المكهربة . وقد كانت هذه التأملات فى بعض الاحيان ظريفة للغاية ، لكنها تميزت بنقص مهم ، وهو انها بقيت بلا جدوى تماما ولم تقدم للعلم اى شيء يستحق الذكر بتاتا .

التأثير عن بعد — وقد استمر الامر على هذه الحالة الى ان اثبت نيوتن صحة قانون الجاذبية العامة الذى اكتشفه ، لكنه لم يقدم فى تلك الاثناء اى تفسير لتأثير ذلك القانون . وقد استحوذت النجاحات التى تلت ذلك ، فى بحث المنظومة الشمسية ، استحواذا كبيرا على عقول العلماء ، بحيث اصبحوا بصورة عامة ، يميلون باكثريتهم الى الاعتقاد بعدم ضرورة البحث عن آلية ما .

وظهرت نظرية التأثير المباشر عن بعد ، عبر الفراغ دون وسيط آخر . وتبين ان الاجسام تتميز بقابلية الاحساس المباشر بوجود بعضها البعض مباشرة بلا اى وسيط .

---

* ليتذكر القارىء حديثنا السابق حول قوى الجاذبية .



وغالبا ما حاول العلماء تأييد نظرية التأثير عن بعد ، استنادا الى هيبة نيوتن ونفوذه ، بالرغم من عدم ملاءمة ذلك للواقع ، كما ذكرنا سابقا . وانصار التأثير عن بعد ، لم يدهشوا للفكرة القائلة بتأثير الجسم فى المكان الذى لا وجود له فيه . وقالوا ألسنا نرى كيف يجذب المغنطيس الاجسام مباشرة عبر الفراغ ، وهنا لا تتغير قوة الجذب تغيرا ملموسا عندما نلف قطعة المغنطيس فى ورقة او نضعها داخل صندوق خشبى . وبالاضافة الى ذلك حتى لو ظهر لنا بان الفعل المتبادل بين الاجسام ناجم عن اتصال مباشر معين ، فان هذا ليس صحيحا فى الواقع . ففى حالة الاتصال الوثيق جدا بين الاجسام ، تبقى بينها مسافة فاصلة صغيرة مع ذلك . ان الثقل المعلق فى خيط ، لا يقطع ذلك الخيط ، على الرغم من وجود الفراغ ايضا بين الذرات المستقلة التى يتألف منها . ان التأثير عن بعد ، ليس مستحيلا فحسب ، بل هو الوسيلة الوحيدة للتأثير ، التى تصادفنا فى كل مكان .

ان التأثير القصير المدى او التأثير عن قرب ، لا يوجد فى الطبيعة بل يوجد فقط فى رؤوس انصار هذه النظرية . ذلك لان هذه الفكرة او النظرية ، مبنية على تجربة غير دقيقة ، اجريت فى زمن ما قبل عصر العلم ، عندما كانوا يعتقدون بان التماس او الاتصال ضرورى لاجل الفعل المتبادل ، لكنهم لم يفهموا بانه

لا وجود بتاتا لاى اتصال مباشر ، بل هناك تأثير على مسافات قصيرة جدا ، لا يمكن قياسها بواسطة الطرق او المقاييس العلمية غير المتقنة ، المستخدمة فى الابحاث .

ان الحجج او البراهين المضادة لنظرية التأثير عن قرب ، قوية بما فيه الكفاية كما يرى القارىء . لاسيما وان هذه البراهين قد دعمت بتلك النجاحات الرائعة التى توصل اليها بعض انصار التأثير عن بعد الراسخى العقيدة ، مثل كولون وأمبير . ولو حدث تطور العلم بصورة مستقيمة ، لما بقيت اية شكوك فى الانتصار النهائى لنظرية التأثير عن بعد . ولكن فى الحقيقة نجد بان خط تطور العلم ، لا يشبه الخط المستقيم ، بل يشبه الخط الحلزونى اكثر من غيره . وعندما ننتهى من السير على لفة حلزونية واحدة ، نعود من جديد الى نفس تلك التصوّرات السابقة تقريبا ، ولكن على مستوى اعلى هذه المرة . وهذا ما حدث بالذات ، عند تطور المفهوم العام او نظرية التأثير عن قرب .

ان النجاحات فى مضمار اكتشاف قوانين الفعل المتبادل للشحنات الكهربائية ، لم ترتبط عضويا بالافكار الخاصة بمسألة التأثير عن بعد . وذلك لان البحث التجريبى للقوى بالذات ، لا يفترض مسبقا على الاطلاق ، تصورات معينة حول كيفية انتقال هذه القوى . وقد كان من الضرورى قبل كل شىء ، العثور على صيغة رياضية للقوى ، اما « تفسير » تلك القوى فقد كان فى المستطاع تأجيله الى ما بعد .

وقد كانت نجاحات انصار التأثير عن بعد ، بمثابة اشارة اولى فقط ، الى عدم جدوى محاولات تفسير القوانين الاساسية للطبيعة ، بهذه او تلك من الصور الميكانيكية الايضاحية ، المقتبسة من التجربة اليومية غير الدقيقة بالفعل .

مجال فاراداى المغنطيسي الكهربائي – ان الانعطاف الحاسم نحو افكار التأثير عن قرب ، استحدث من قبل العالم فاراداى – واضع الافكار الرئيسية لنظرية المغنطيسية الكهربائية ، واكمل نهائيا من قبل العالم ماكسويل . واستنادا الى ابحاث فاراداى ، نجد ان الشحنات الكهربائية لا تؤثر على بعضها البعض مباشرة . ان كلا منها يولد فى الفراغ المحيط (اذا كان متحركا فيه) مجالا كهربائيا ومغنطيسيا . ومجالات كل شحنة تؤثر على الشحنة الاخرى ، والعكس بالعكس .

وقد كانت افكار فاراداى المتعلقة بالتيار الكهربائي ، مبنية على مفهوم خطوط القوى ، التى تتوزع فى كافة الاتجاهات عن الاجسام المكهربة . وهذه الخطوط التى تبين اتجاه تأثير القوة الكهربائية فى كل نقطة ، كانت معروفة قبل ذلك الوقت بزمن بعيد . حيث لاحظها ودرسها العلماء باعتبارها ظاهرة طريفة تثير حب الاستطلاع .

لو مزجنا البلورات المستطيلة لاحد العوازل الكهربائية (مثل الكينين) مزجا جيدا مع احد السوائل اللزجة مثل زيت الخروع ، فسوف نجد بان هذه البلورات سوف تتنضد بالقرب من الاجسام المشحونة ، على هيئة سلاسل ، مكونة خطوطا غريبة الشكل نوعا ما ، تبعا لتوزيع الشحنات .

ويمكننا ان نتعقب خطوط القوى بالقرب من سطح الارض قبل بدء حدوث الرعد .

ويمكننا ايضا ان نراقب خطوط القوى المغنطيسية بالقرب من الموصلات المحتوية على تيار كهربائي ، بواسطة برادة الحديد .



وقد كان فارادای اول من امتنع عن اعتبار خطوط القوى ، بمثابة وسيلة تساعدنا بكل بساطة على ان ندرك بالنظر فقط ، اتجاهات محصلات قوى التأثير عن بعد ، المنطلقة من الاجسام المكهربة او التيارات الكهربائية فى اماكن مختلفة : نتيجة معقدة لقوانين بسيطة . ان خطوط القوى كما عرفها فارادای ، هى عبارة عن تصوير واضح تماما للعمليات الحقيقية التى تجرى فى الفراغ بالقرب من

الاجسام المكهربة او المغنطيسات . وهنا عمل على نظرية او مفهوم خطوط القوى ، وضوحا رائعا ودقة بالغة . ان توزيع خطوط القوى استنادا الى ابحاث فاراداى ، يعطى صورة للمجال الكهربائى بالقرب من الشحنات او صورة للمجال المغنطيسى بالقرب من المغنطيسات او الموصلات .

وقد كتب ماكسويل يقول : « ان فاراداى رأى ببصيرته العقلية ، خطوط القوى التى تخترق الفراغ برمته . وهناك حيث رأى علماء الرياضيات مراكز جهد القوى البعيدة المدى ، رأى فاراداى عاملا وسيطا بينها . وفى المكان الذى لم يجد فيه العلماء اى شيء ، ما عدا المسافة ، وكانوا قد قنعوا باكتشافهم لقانون توزيع القوى المؤثرة فى السوائل الكهربائية ، كان فاراداى يبحث هناك عن حقيقة الظواهر الفعلية الواقعية التى تجرى فى الوسط المحيط » . وبالرغم من ان فاراداى لم يكن عالما رياضيا ولم يتمكن من متابعة تطور افكار زملائه من العلماء الضليعين للغاية فى الرياضيات ، مثل أمبير ، الا انه استطاع مع ذلك بواسطة خطوط القوى ، ان يبحث ويدرك اصعب مسائل الديناميكا الكهربائية . وليس هناك شك فى ان هذه الافكار بالذات ، هى التى اوصلته الى عدد من الاكتشافات التى على درجة كبيرة جدا من الاهمية .

ان الناس المعاصرين الذين دهشهم نجاح ابحاث أمبير وغيره من العلماء المشهورين فيما يتعلق بالتأثير عن بعد ، كانوا يشعرون شعورا باردا جدا نحو افكار فاراداى ، مع تتبعهم فى الوقت نفسه لاكتشافاته العملية او التجريبية . وهذا ما كتبه بهذا الخصوص احد اولئك المعاصرين : « اننى لا استطيع ان اتصور ابدا ، بان احدا من الناس الذين لديهم فكرة عن التوافق الموجود

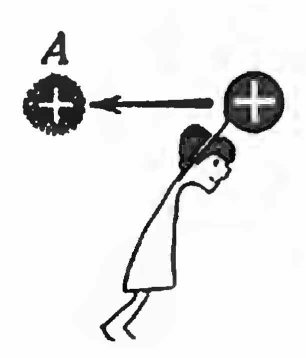
بين التجربة والنتائج الحسابية النظرية ، يستطيع ان يتردد ولو لحظة واحدة فى اعطاء الافضلية : ايعطيها لهذا التأثير الواضح بالمفهوم ، ام يعطيها لشيء ما آخر ، غير واضح للغاية ويكتنفه الغموض ، مثل خطوط القوى » .

المجال المغنطيسي الكهربائي موجود — ولكن انصار التأثير عن بعد ، لم يتمكنوا ان يفتخروا مدة طويلة بالاناقة الرياضية لنظرياتهم ودقتها . فقد استطاع العالم العظيم ماكسويل وهو من وطن فاراداى ايضا ، ان يكسب افكار فاراداى صيغة كمية دقيقة ، على درجة كبيرة من الاهمية فى الفيزياء . ووضع مجموعة معادلات المجال المغنطيسي الكهربائي ، التى اصبحت خالدة فى تاريخ العلم . وقد اتضح على وجه الخصوص بان القوانين التى اكتشفها كل من كولون وأمبير ، يعبّر عنها بلغة المجال بالذات ، تعبيرا تاما للغاية ، بعمق وباناقة رياضية فى نفس الوقت . ومنذ ذلك الحين ، اخذت الافكار الخاصة بالمجال المغنطيسي الكهربائي ، تستحوذ على اهتمام اكبر فاكبر بين العلماء . ولكن الانتصار الكبير النهائى ، اى بعد ذلك بفترة من الزمن تقدر بحوالى ٥٠ سنة ، اعقبت صياغة الافكار الاساسية لفاراداى . لقد استطاع ماكسويل ان يبين نظريا ، بان الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة تنتشر بسرعة نهائية ، وهذه السرعة هى سرعة الضوء فى الفراغ : س = ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية . وهذا يعنى اننا لو حركنا بخفة شحنة من الشحنات (أ) فان قوة كولون المؤثرة على الشحنة (ب) تتغير فى نفس اللحظة ، بل بعد مرور فترة زمنية تساوى : ن = $\frac{\text{أب}}{\text{س}}$. وهذه هى النتيجة الاساسية التى قضت على نظرية او

مفهوم التأثير عن بعد . وفى الحقيقة تحدث بين الشحنات الموجودة فى الفراغ ، عملية * ما من العمليات ، التى بنتيجتها ينتشر الفعل المتبادل بين الشحنات ، بسرعة نهائية قصوى . وفى الحقيقة من الصعب اجراء مثل هذه التجربة بسبب السرعة الكبيرة جدا لانتشار العملية . ولكننا لسنا بحاجة الى ذلك . لقد نتج عن نظرية ماكسويل ، حقيقة اساسية ، وهى ان المجال المغنطيسى الكهربائى ، يمتلك قصورا ذاتيا فريدا فى نوعه . وفى حالة التغير السريع لسرعة الشحنة ، نجد ان المجال المرافق لها ينفصل عنها ، مثلما تنفصل عن اماكنها كافة الاشياء غير المثبتة ، عندما تزداد بحدة سرعة القطار الذى يحملها . وتبدأ المجالات المنفصلة عن الشحنات ، بالتواجد بصورة مستقلة ، على هيئة موجات مغنطيسية كهربائية . وفى الوقت الحاضر ، يعرف الجميع ذلك ، لان مثل هذه العملية تحدث اثناء اشتغال كل محطات الاذاعة فى العالم بلا استثناء . وتتلخص مهمتها فى اشعاع الموجات المغنطيسية الكهربائية . واذا توقفت محطة الاذاعة عن البث ، فان الموجات المغنطيسية الكهربائية التى ولدتها ، ستبقى لمدة طويلة اخرى تتجول فى الفراغ ، الى ان تمتصها الاجسام . فى هذا المثال وغيره من الامثلة المشابهة ، يظهر المجال المغنطيسى الكهربائى ظهورا واقعيا جدا ، مثل الكرسى الذى نجلس عليه ، والتملص من الافكار الخاصة بالمجال ، باعتباره شيئا معقدا يربك الاشياء البسيطة ، كما كان يعتقد انصار التأثير عن بعد ، هو من الامور المستحيلة الآن .

ان الفكرة القائلة بأن الجسم يمكن ان يؤثر مباشرة فى المكان الذى لا يوجد فيه ، والتى بدت منذ اللحظة الاولى لظهورها بمثابة

* ستتناول فيما بعد بحث هذه العملية .



فكرة تناقض نفسها بنفسها ، دحضت بالتجربة بالرغم من انه كما ظهر فى وقت ما ، بأن تطور العلم بالذات يتطلب الاعتراف بها ، اما المتعصبون لنظرية التأثير عن قرب ، الذين يقيدون الفكر الخلاق ، فيجب نبذهم .

٦ ــ ما هو المجال الكهربائى والمجال المغنطيسى ؟

السؤال « المعذّب » ــ ما هو المجال الكهربائي والمجال المغنطيسى ؟ ان هذا السؤال يعتبر من اكثر الاسئلة المعذبة للانسان الذى يحاول فهم حقيقة تلك القيم الاساسية التى تتعامل معها الفيزياء الحديثة ، لكنها اما لم تنجح بعد فى القيام بدراستها بصورة اساسية ، ام انها فقدت الامل فى متابعة البحث فى هذا الموضوع . وليس من العبث ان يصادفنا هذا السؤال بالذات ، فى اغلب الاحيان ، ضمن الاسئلة التى تحملها مختلف الرسائل التى تملأ يوميا ادراج هيئات تحرير المجالات ودور النشر العلمية العامة . ان الشحنة الكهربائية تهم السائلين بدرجة تقل كثيرا جدا عن درجة اهتمامهم بالمجال ، بالرغم من ان المسألة هنا لا تقل صعوبة بتاتا عن

مسألة المجال . وربما كان سبب ذلك هو ارتباط الشحنة بشيء ما غير ملموس — الجسم المكهرب ، اما المجال فهو غير مرتبط بهذا الشيء .

وقد كتب في هذا الصدد مختلف الناس ، الذين تعرفوا عادة على مفهوم المجال من الكتب المدرسية والمقالات العلمية العامة . وغالبا ما يعبر هؤلاء عن حيرتهم ودهشتهم لعدم وجود اى تعريف معين للمجال ، يمكنه ان يقنعهم . ولا يكتب في هذا الموضوع ، الا الطلبة فقط . ذلك اما لانهم بدأوا يفهمون بان الموضوع لا يمكن ان ينتهي بعدة عبارات فقط ، او لان في استطاعتهم الحصول على التفسير المناسب ، من اساتذتهم .

المجال المغنطيسي الكهربائي والأثير — ان الوضع هنا ليس بسيطا . لقد ولدت الافكار الاولية المتعلقة بخطوط القوى ، التي توصل اليها فاراداى ومن بعده ماكسويل ، في عصر انتصار ميكانيكا نيوتن . وقد كانت عامة وشاملة الاغراض . وقد توقف الناس منذ مدة طويلة من الزمن ، عن اعتبار مسلمات نيوتن بمثابة نظريات قائمة على اساس التجربة . وقد اخذوا يعتبرونها واضحة بنفسها تقريبا .

ان كلا من كولون وأمبير ، لم يفكروا مطلقا بأى تراجع عن مواقع نيوتن . لانهما قد بحثا للتو ، بعض الانواع الجديدة من القوى . ونظرية نيوتن تسمح بوجود القوى بأى شكل كان !

وفي الواقع لقد وقف فاراداى ايضا عند نفس المواقع بالذات ، مع اختلاف جوهري في الحقيقة ، هو انه لم يعترف بنظرية التأثير عن بعد . ولم يقتنع فاراداى بالمقدرة على كتابة أو وضع الصيغ وحدها ، التي تعبر عن القوى المغنطيسية الكهربائية ، بواسطة

المسافة ، السرعة وغير ذلك . وقد حاول التعبير بوسيلة واضحة عن آلية ظهور او نشوء هذه القوى . نعم ، عن الآلية بكل معنى هذه الكلمة الحرفى . وهذا الامر (بالاضافة الى التجارب باستخدام برادة الحديد وقطع العازل الكهربائى) هو الذى اوصل فاراداى الى تصورات حول خطوط القوى ، باعتبارها شيئا يشبه جدا الخيوط المرنة العادية (التى تفترض بانها غير مرئية ، وبصورة عامة ، منفلتة عن المراقبة المباشرة لاعضاء الحس البشرية) .

نعم ، مهما بدا هذا الامر متناقضا فى عصرنا هذا ، نجد بأن كلا من فاراداى وماكسويل قد وقفا عند مواقع التفسير الميكانيكى للظواهر المغنطيسية الكهربائية !

وبتبنيهم لاحدى النظريات التى استنادا اليها يكون الفراغ برمته ممتلئا بوسط خاص يمكنه التغلغل فى كل مكان — الأثير ، حاولوا ان يلخصوا كافة الظواهر المغنطيسية الكهربائية بتحويلها الى حركات ميكانيكية فى الأثير والى اجهادات ميكانيكية فى داخله . ويوجد شىء كثير فى النظرية الحالية ، يذكرنا بذلك . والى يومنا هذا ، نصادف فى الكتب (مع اعطاء الكلمات معنى جديدا فى الحقيقة) حديثا عن « قوى الشد » المرتبطة بالمجال المغنطيسى الكهربائى ، وعن التيارات والدوامات .

قد يكون مصير الاكتشافات العلمية غريبا فى بعض الاحيان . ونجد على سبيل المثال ، ان العالم فورييه ، تمكن استنادا الى افكار خاطئة تماما عن السيّال الحرارى (Caloric) — وهو عبارة عن سائل يعتقد بانه حامل للحرارة — من وضع نظرية رياضية صحيحة هى نظرية الموصلية الحرارية (Thermal conductivity) . ولازلنا نستخدم هذه النظرية الى الوقت الحاضر . وقد بنى فاراداى وماكسويل

الانشاء المتناسق لنظرية المغنطيسية الكهربائية ، استنادا الى الافكار والتصورات الميكانيكية .

في هذه الحالة الاخيرة ، كان منطق تطور الافكار ، غريبا او مدهشا بصورة خاصة . لقد ظهر بان الأثير هو وليد غير قابل للحياة . وقد كان في الامكان ايضا ، تقبل ضرورة اضفاء خواص غريبة عليه . وعلى سبيل المثال ، امكن الى جانب خاصية المرونة الهائلة ، اضافة خاصيتي الكثافة واللزوجة الضئيلتين للغاية . ولكن ظهرت تدريجيا بعض الظروف التي تحدث ليس فقط شروط الجلاء او الوضوح (وهذا ليس مريعا جدا) بل تتحدى التكامل المنطقي للنظرية بالذات . فعلى سبيل المثال ، نجد ان الأثير في بعض التجارب (اذا كان له وجود بالفعل) كان يجب ان ينسحب في اثر الاجسام المتحركة . ينسحب كليا في اثرها ! كما نتج عن بعض التجارب الاخرى ، ان هذا الانسحاب يعتبر جزئيا فقط. واخيرا كانت هناك بعض التجارب الاخرى ، التي تحدثت بنفس الدرجة من القطعية ، حول عدم وجود اى انسحاب للأثير ! وهكذا فقد ظهر ان هذا الوسط الافتراضي ، هو وسط لا يمكن القبض عليه او ادراكه بتاتا .

الاثير ونظرية النسبية – ان هذه التناقضات زعزعت الافكار والتصورات العادية ، التي اصبحت متأصلة في عقول العلماء حول مسألة الاثير . وقد قضى نهائيا على فكرة الاثير الميكانيكي ، بواسطة نظرية اينشتاين النسبية . واتضح انه ليس فقط لا يمكن ايجاد اية ميكانيكا اثيرية مقنعة ولو الى حد قليل جدا ، بل لا يمكن حتى العثور على اية حركة بالنسبة للاثير .

والمعروف ان هذا لم يزحزح اى حجر في البناء المتناسق

لقوانين ماكسويل الخاصة بالمجال المغنطيسى الكهربائى ، المصاغة رياضيا . وبقيت المعادلات على وضعها السابق ! او من الافضل القول بانها حافظت على شكلها الخارجي السابق ، ولكن معناها ، معنى المصطلحين « المجال الكهربائى » و « المجال المغنطيسى » تغيّر تماما . وهكذا نجد ان تعريف خطوط القوى فى النظرية الحديثة هو : ان خطوط القوى هى عبارة عن صورة ايضاحية لتوزيع المجال فى الفراغ ، ولكنها ليست على الاطلاق بمثابة اوتار مشدودة للآلية غير المرئية . وفى هذا الصدد ، نجدها ليست اكثر واقعية من خطوط الطول وخطوط العرض المرسومة على النموذج الجغرافى للكرة الارضية .

توجد نكتة قديمة حول كيفية اشتغال التلغراف اللاسلكى : « هناك جرس مربوط بحبل ، وطرف الحبل الثانى فى يدى . وعندما اجر الحبل سوف يقرع الجرس . هل هذا مفهوم ؟ والآن سيحدث نفس الشىء ولكن بدون اى حبل » .

وقد كان الاثير بالنسبة لكثير من علماء الفيزياء ، بمثابة ذلك الحبل بالذات ، الذى قام بعمل عادى ومفهوم . ان « نفس » الديناميكا الكهربائية بالذات ولكن « بدون حبل » تطلبت اعادة التأمل فى الكثير من الافكار والتصورات .

ويمكن القول بان انصار نظرية التأثير عن بعد ، كانوا على حق فى شىء واحد مع ذلك . انهم عندما رفضوا قبول العامل الوسيط ، الذى يعتمد عليه الفعل المتبادل ، وقعوا فى الخطأ . ولكنهم كانوا مع ذلك على حق ، فعندما سخروا من محاولات تفسير هذه الافعال المتبادلة بآلية غير مفهومة من اى احد ، آلية كان يجب ان تصمم بالطريقة التى تجعلها تعطى تماما ما

موجود ، لا يجب فى هذه الحالة ان نأمل بامكانية وجود علاقة بين الظواهر المغنطيسية الكهربائية ، والميكانيكا ، ولتكن ميكانيكا فريدة فى نوعها وحاذقة ، لكنها مع ذلك ميكانيكا نيوتن .

ولكن اذا كان الامر كذلك ، ينتج اننا بدراستنا للمجال المغنطيسي الكهربائي ، نصادف مادة من المواد (وهنا لا يمكن ان نشك فى مادية المجال المغنطيسى الكهربائى) لا تخضع لقوانين نيوتن ! وتتميز صفاتها بقوانينها الخاصة بها ، التى تتمثل صياغتها الرياضية فى معادلات ماكسويل .

وهذا هو احد الاكتشافات الاساسية للغاية ! ولأول مرة فى تاريخ العلم بالمعنى العصرى لهذه الكلمة ، ظهرت فكرة عميقة ، تفيد بوجود انواع مختلفة من المادة ، ولكل نوع منها قوانينه الخاصة التى تبين صفاته ، وهذه القوانين تختلف عن غيرها ، ولو انها فى بعض النقاط تلامسها . وقد أصبح يوم ولادة هذه الفكرة ، هو يوم طرد ميكانيكا الاثير او الميكانيكا الاثيرية من علم الفيزياء .

ولكن ما هى هذه المادة ؟ وما هو التعريف الذى يجب ان نعرف به مفهومى المجال الكهربائى والمجال المغنطيسى ؟

ماذا نعنى بالتفسير ؟ — والآن يجب على القارىء ان يستمع الى مناقشة طويلة وربما مملة ، الغرض الوحيد منها هو ان نجد عذرا فى استحالة تقديم تعريف للمجال ، يمكنه ان يقنعنا فى الحال .

وليتذكر القارىء كيف يمكن ان نفسر ماهيّة هذا الشىء او غيره . ان اول ما يتبادر الى الذهن بطبيعة الحال ، هو الاشارة اليه بالاصبع (بالرغم من ان ذلك ليس من اللياقة دائما) ، عندئذ

تقوم اعضاء الحس فى الشخص المستمع ، بدون اية مساعدة من الشخص المتكلم ، بنقل معلومات قيمة واسعة الى ذلك الشخص .

واذا كان موضوع الحديث غير موجود او غير منظور (هذا فى الدرجة الثانية) عندئذ يمكن الحديث بالتفصيل عن خواصه وميزاته . واخيرا يمكن اذا تطلب الامر ، ان نتحدث عن الشيء الذى يتألف منه موضوع حديثنا ، اى نتحدث عن بنية او تركيب ذلك الشيء .

لقد تعودنا على انه فى الامكان استخدام اية طريقة من هذه الطرق . ففى بعض الحالات تعطى الافضلية لاحدى الطرق ، وفى حالات اخرى تعطى لطريقة اخرى . مثلا ، من الصعب جدا ان نفسر ما هى الزرافة ، ولكن يكفى ان ننظر اليها مرة واحدة ، وبعد ذلك لا يمكن ان نتوهم فيها بتاتا . وعلى العكس من ذلك ، نجد ان من الافضل التعرف على معاناة الانسان الذى تعرض لانهيار ثلجى فى الجبال ، من الاحاديث فقط . اما الحديث عن بعض الاشياء مثل الذرة ، فمن الاسهل جدا ان نضع فكرة او نرسم صورة تعرفنا على تركيبها .

وبالمناسبة نجد ان الطريقة الاولى ، لا تنفع هنا بتاتا . ان الذرة صغيرة الى درجة كبيرة ، لا يمكن معها ان نراها او نلمسها بتاتا .

وغالبا ما تكون الطرق الثلاث باجمعها ، صالحة بدرجة متساوية ، ويمكننا لاختيار اية طريقة منها تبعا لطبيعة ودرجة الاهمية التى يوحى لنا بها ذلك الشيء .

وعلى سبيل المثال ، عندما نريد ان نعرف ما هو الجلوكوز (سكر العنب) ، يمكننا ان نفتح الانسكلوبيديا او غيرها من

المراجع الاخرى ، ونتعرف على شرح خواصه وميزاته . وهكذا سنعرف بانه عبارة عن مادة بلورية عديمة اللون ، تذوب عند درجة حرارة قدرها ١٤٦° مئوية ؛ اما طعمه فهو اقل حلاوة بمرتين من السكر العادى ، وهلم جرا . وستكون قائمة الاوصاف الاخرى ، واسعة جدا .

ثم نستطيع بعد ذلك ان نتعرف على تركيبه او بنيته . وهنا سيتضح لنا بان الجلوكوز يتألف من الكربون ، الهيدروجين والاكسيجين . ويحتوى جزىء الجلوكوز على ست ذرات من الكربون ، وست ذرات من الاكسيجين و ١٢ ذرة من الهيدروجين مرتبطة مع بعضها البعض بطريقة معينة .

واخيرا يمكننا ببساطة ان نحصل على بلورة الجلوكوز ونرى ما هى . ويحصل العالم او الشخص المهتم بالعلم ، على اعمق التصورات التى ترضيه تماما عن اى شىء من الاشياء ، عند التعرف على تركيب او بنية ذلك الشىء . خاصة عندما يمكن استنادا الى ذلك التركيب ، تفسير الخواص المختلفة لذلك الشىء. وفى هذا الامر بالذات ، يتلخص هدف العلم بصورة رئيسية .



الحقائق الاولية — ولكن توجد بعض الاشياء ، التى لاتصلح الطريقة الاولى ولا الطريقة الثالثة لتفسير حقيقتها او جوهرها . وهذه الاشياء لا تشعر بها مباشرة حواسنا البشرية ، لذلك لا يمكننا ان نتحدث باى شىء عن تركيبها او بنيتها . ان المجالات المغنطيسية

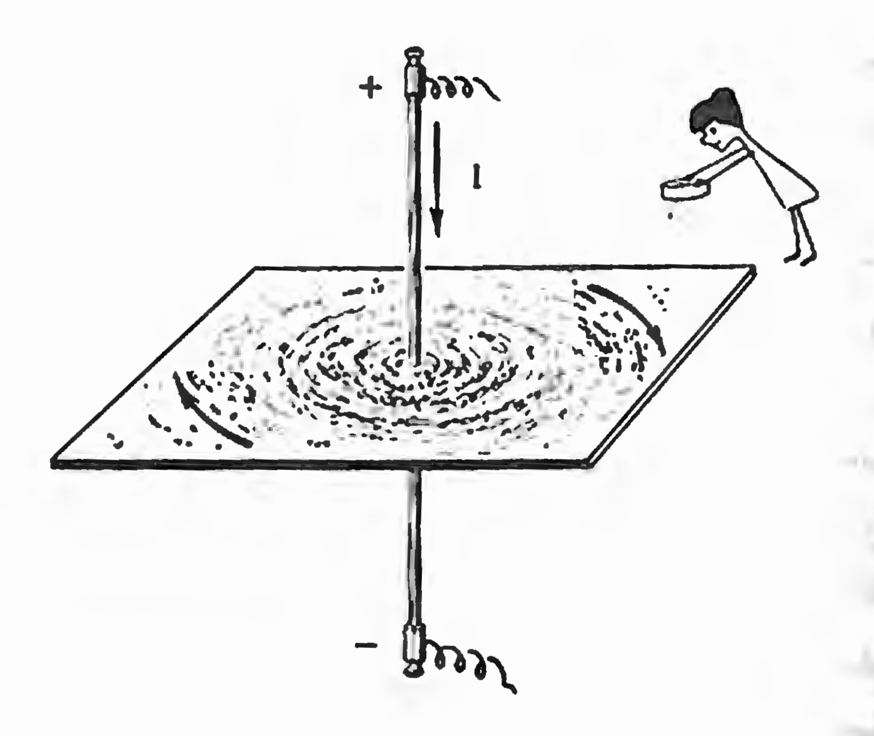
والكهربائية تعتبر من هذه الاشياء بالذات . اما حقيقة ان هذه المجالات لا تؤثر على حواسنا ، فهذا ليس بالامر المخيف ، بالرغم من انه ليس من السهولة تصديق حقيقة عدم احساسنا المباشر . اننا لانشعر بالذرات ايضا بواسطة حواسنا مباشرة ، ومع ذلك يمكننا التعود عليها بسهولة تامة . ولكن الامر اصعب من ذلك بالنسبة للمجال ، من حيث اننا لا يمكننا التحدث باى شيء عن تركيبه او بنيته . ان هذا الوضع غير عادى تماما . وهو موجود بالنسبة للاشياء البسيطة جدا فقط ، المعروفة لدينا الى يومنا هذا . ونحن لا نعرف اى شيء اكثر اولية من المجال المغنطيسى الكهربائى ولهذا السبب بالذات لا يمكننا ان نتحدث باى شيء عن تركيبه .

وعند اية مرحلة من مراحل تطور العلم ، يصادفنا مثل هذا النوع من الحقائق البسيطة جدا ، التى لا يمكن تحليلها الى عناصرها الاولية ، لسبب بسيط واحد ، هو ان هذه العناصر غير معروفة . وقد اعتبر الفلاسفة القدماء ، ان العناصر الاولية الاربعة هى : الماء ، الهواء ، النار والارض . وبعد ذلك كانت الذرات ، اما الآن فهناك الجسيمات الاولية الدقيقة والمجالات . والسؤال يمكن ان يطرح على الشكل التالى فقط : هل ستكتشف فى المستقبل ، اشياء اكثر بساطة ، يمكننا ان نعتبرها بمثابة اجزاء مركبة للمجالات والجسيمات الدقيقة ؟ وهنا لا يمكن ان نذكر لحد الآن ، اى شيء موثوق به على الاطلاق . ويجب ان نحذر مباشرة من محاولات تصوير المجال بشكل مبسط للغاية . وكم نود ان نصوّر من الجسيم الدقيق ، نموذجا منظورا : كرية صغيرة او ما شابه ذلك ، مخططة بوضوح تام فى الفراغ ومتقطعة . اما بالنسبة للمجال ، فهو يرتبط بذهننا كشيء متصل يملأ الفراغ ، مثلما يملأ السائل الوعاء .

ان مثل هذه التصورات بالذات ، كانت تسيطر على العلم فى نهاية القرن الماضى : لقد اعتبر الالكترون بمثابة كرية صغيرة مشحونة ، اما المجال المغنطيسى الكهربائى ، فقد اعتبر بمثابة شد ناجم عن وسط فرضي خاص ، هو الاثير . ولكن فى الحقيقة ، لا يمكن قبول مثل هذه الصورة البسيطة جدا . ويكفى ان نقول ، بانه قد ثبت فى الوقت الحاضر ، ان المجال المغنطيسى الكهربائى يكشف عن خواص الجسيمات الدقيقة ، كما عثر فى الجسيمات الاولية بدورها ، على خواص تموجية نموذجية . ولكننا سوف لا نسبق الحوادث كثيرا . لاننا فى هذه الحالة ، سنضطر الى الحديث عن بعض الخواص المعقدة للمجال ، التى لم يحن الوقت بعد للتحدث عنها .

الخواص الاساسية للمجال المغنطيسى الكهربائى – والآن يمكننا ان ننتقل الى جوهر المسألة الخاصة المتعلقة بالمجال الكهربائى (وبصورة ادق ، بالمجال الالكتروستاتى) . ان تصوراتنا عن ماهية المجال الكهربائى ، تنجم نتيجة للبحث التجريبى لخواصه . ولا يمكن العثور على هذه الخواص بطريقة اخرى . والخاصية او الميزة الاساسية للتيار الكهربائى ، هى قابليته للتأثير فى الشحنات الكهربائية (الساكنة منها والمتحركة) بقوة معينة . وبوجود التأثير فى الشحنة ، يثبت وجود المجال وتوزيعه فى الفراغ ، وتبحث كافة خواصه .

والمجال الكهربائى يتولد من قبل الشحنات الكهربائية . وقد اتفق على اعتبار ان خطوط القوى لهذا المجال ، تبدأ عند الشحنات الموجبة وتنتهى عند الشحنات السالبة . اما الشحنات ، فهى عبارة عن مصادر المجال . واستنادا الى تأثير المجال فى الشحنة ، يمكننا



ليس العثور على المجال فحسب ، بل يبحث هذا التأثير يمكننا كذلك ادخال قيمة محددة بدقة ، تساعدنا على قياس المجال بالذات . وهذه القيمة تسمى بشدة المجال — وهى عبارة عن القوة المؤثرة فى شحنة موجبة واحدة .

ان الخاصيّة الاساسية للمجال المغنطيسى ، هى قابليته للتأثير فى الشحنات الكهربائية المتحركة ، بقوة معينة . ويتولد المجال المغنطيسى كذلك ، من قبل الشحنات الكهربائية المتحركة فقط . وخطوط القوى التابعة للمجال المغنطيسى ، تشمل تيارات على هيئة خطوط مقفلة ليس لها بداية او نهاية .

وقد قام ماكسويل استنادا الى اكتشافات كولون وأمبير ، بصياغة القوانين الدقيقة التى تحدد قيمة المجالين الكهربائى والمغنطيسى ، تبعا لتوزيع الشحنات والتيارات فى الفراغ .

ما هو موقف العلماء من المفاهيم الاساسية ؟ — من المفيد

ان نتحدث ايضا بعض الشيء عن رأى الفيزيائيين بالذات في هذا النوع من المفاهيم الاساسية ، مثل مفهوم المجال . ان تعريف المجال وتعداد خواصه التي تحدثنا عنها سابقا ، ربما يعتبر في نظر الكثير ، امرا غير كاف . ولكن الا يجدر بنا قبل كل شيء ، ان نبذل قصارى جهدنا لاجل الوصول الى وضوح اكبر في السؤال الخاص بالمجال ، ومحاولة تفسير طبيعته بالتفصيل ؟

ان وجهة نظر العلماء تختلف في هذا الخصوص . يرى العلماء قبل كل شيء في تلك المعلومات التي نعرفها عن المجال ، امكانيات غير محدودة لتفسير مجموعة هائلة من الحقائق التجريبية . لكننا بهذه المعلومات يجب ان نقصد طبعا القوانين الرياضية الدقيقة الصياغة ، التي تحدد المظهر الخارجي للمجال استنادا الى اوضاع الشحنات وسرعاتها ، وليس فقط تلك التصورات النوعية التي يمكن ان نتحدث عنها في هذا الكتاب . ان العلماء يأخذون في اعتبارهم تماما ، بان الوضع هنا يشبه وضع القوى في الميكانيكا النيوتنية . فبالنسبة للميكانيكا كما يتذكر القارىء ، لا تهم معرفة طبيعة القوى بالذات . بل المهم فقط هو مقدارها والظروف التي تنشأ فيها . وفي نظرية المجال المغنطيسي الكهربائي ، من المهم ايضا قبل كل شيء ، ان نعرف كيف يؤثر المجال على الشحنة ، والظروف التي ينشأ عندها ، وليس المهم ان نعرف طبيعة المجال بالذات . والفرق هنا يتلخص فقط في اننا بخروجنا عن نطاق الميكانيكا ، يمكننا ان نبحث طبيعة القوى ، ولكننا لا نستطيع ان نفعل نفس الشيء بالنسبة للمجال ، في الوقت الحاضر على الاقل .

ويتلخص بحث طبيعة مختلف القوى الميكانيكية في الحقيقة ، في تحويلها الى هذه المجالات او غيرها . اما المجالات نفسها

بالذات ، فلا يمكن فى الوقت الحاضر على الاقل ، تحويلها الى شيء ما اكثر اولية منها .

ان معلوماتنا الحالية عن المجال ، سوف تتوسع فى المستقبل بلا شك عاجلا ام آجلا . ولكن المعلومات التى لدينا الآن ، لا تسمح لنا ان نغوص في اعماق الافتراضات المشكوك فيها ، حول حقيقة «آلية» تأثير المجال فى الشحنات . ويجب ان نكتفى بما ذكرناه حول هذا الموضوع . ان العودة الى المحاولات الاولى للادراك الميكانيكي للمجال ، شيء مستحيل .

ومحاولة التوصل مباشرة الى «الحقيقة ذاتها» بالنسبة للمجال ، بدلا من التفسير الطويل ، الصعب والمهم للغاية ، للظواهر الملموسة ، استنادا الى الحقائق المعروفة والى العثور على خواص جديدة للمجال ، قد تبدو ، اى المحاولة المذكورة ، مستحقة للثناء ، اما فى الحقيقة ، فيجب علينا ان نتخلص منها .

ان موقف العلماء من المجال يمكن مقارنته بموقف السيد ساباكيفج من احد المواضيع الحساسة مثل «الارواح الميتة» — من رواية جوجول (الارواح الميتة) * . لقد كان ساباكيفج مهتما قبل كل شيء بالربح الذى يمكن ان يجنيه منها . ويسأل ساباكيفج صاحبه جيجيكوف : هل تحتاج الى ارواح ميتة ؟ يسأله دونما اية دهشة وبكل بساطة ، كما لو كان السؤال يدور حول الخبز . ثم يتابع حديثه قائلا : «اننى على استعداد لبيعك الارواح الميتة اذا سمحت» . وعلى اية حال ، ان موقف العلماء

---

* يجب الا يفكر القارىء بان العلماء نسخة طبق الاصل من السيد ساباكيفج من حيث سلوكهم . ان التشابه بينهم و بينه ليس فى الغرض من استخدام «الاشياء السحرية» بل القابلية على رؤية اشياء مفيدة عمليا فيها .

من المجال هو ليس كموقف السيد مانيلوف من الارواح الشريرة .
وطبعا يتذكر قارىء رواية (الارواح الشريرة) كيف حاول مانيلوف
ان يتوصل الى ماهيّة « الارواح الشريرة » ولكنه لما رأى بان هذا
الامر فوق طاقته ، اكتفى بالتحفظات متسائلا هل ان بيع الارواح
الشريرة او المتاجرة بها « منافية للمراسيم المدنية والتصاريح الروسية
الاخرى » . وبعد ان حصل على تأكيد ينفي ذلك ، هدأ روعه
تماما . وبالطبع يحاول العلماء بحث خواص المجال بصورة اعمق .
ولكنهم يدركون جيدا ، بان الطبيعة تحفظ اسرارها احسن بكثير
مما يحفظ جيجكوف سر « الارواح الشريرة » .

ان وضع النظريات والفرضيات المشابهة لتلك التى اقترحتها
السيدات « اللطيفات من كافة النواحى » او التى اقترحها موظفو
مركز المقاطعة ن فيما يتعلق بـ « الارواح الشريرة » يعتبره العلماء
عملا اقل ما يقال فيه انه بلا فائدة ، بل هو عمل مضر أيضا .
ان السير على هذا الطريق ، يؤدى فقط الى تحويل العلم الى
كتابة قصص مسلية ، تشبه من حيث صحتها « قصة الضابط
كوبيكن » او قصة « اختطاف ابنة المحافظ » .

وفى الوقت الحاضر ، لا يمكننا على اغلب الظن ، حتى
ان نؤكد على انه فى المستقبل ستكتشف حقائق « اكثر اولية »
من المجالات والجسيمات الاولية الدقيقة .

ان الطبيعة ذات خواص لا تنفد . والالكترون ايضا لا ينفد
كما قال لينين . والمجال المغنطيسى الكهربائى هو الآخر ذو
خواص لا تنفد . ولهذا السبب فان عملية الادراك او الفهم الاعمق
لخواص المجال ، سوف لا تتوقف مطلقا . ولكن هل ان المعلومات
العلمية البسيطة جدا التى نعرفها حتى يومنا هذا ، ستدوم الى ما

لا نهاية ؟ ان كافة الحقائق المجتمعة تجيب على ذلك بالنفى ، على الاغلب . اذا كان الامر كذلك ، فان التقدم اللاحق فى دراسة المجالات والجسيمات المغنطيسية الكهربائية ، سيرتبط فقط بالعثور على خواص اعمق فاعمق . وقد توقفنا فقط عند بعض الخواص المهمة جدا ، ولم نذكر كل ما هو معروف عن المجال فى العلم الحديث .

والآن من الضرورى والممكن الانتقال الى الخواص الاساسية الاخرى للمجال المغنطيسى الكهربائى .

٧ ــ العلاقة المتبادلة بين المجالات الكهربائية والمجالات المغنطيسية

خواص جديدة للمجال المغنطيسى الكهربائى ــ لو كانت الشحنات الساكنة تولد مجالا كهربائيا ، والشحنات المتحركة تولد مجالا مغنطيسيا ، فحسب ، لما اصبحت مجموعة او عائلة القوى المغنطيسية الكهربائية ، واسعة الى الحد الذى هى عليه الآن بالفعل . وبالاضافة الى ذلك ، ما كان فى المستطاع التأكيد بصورة صحيحة . على ان هذه المجالات ، هى عبارة عن حقيقة قائمة فى العالم ، لاشك فى وجودها ، مثلما لا يوجد شك فى وجود مؤلف الكتاب بالنسبة للقراء . ولولاها لاصبح العلماء (انصار التأثير عن قرب) فى موقف المؤلفين المبتدئين ، الذين لا يمكنهم التأكد مسبقا من اجتذاب جماهير القراء .

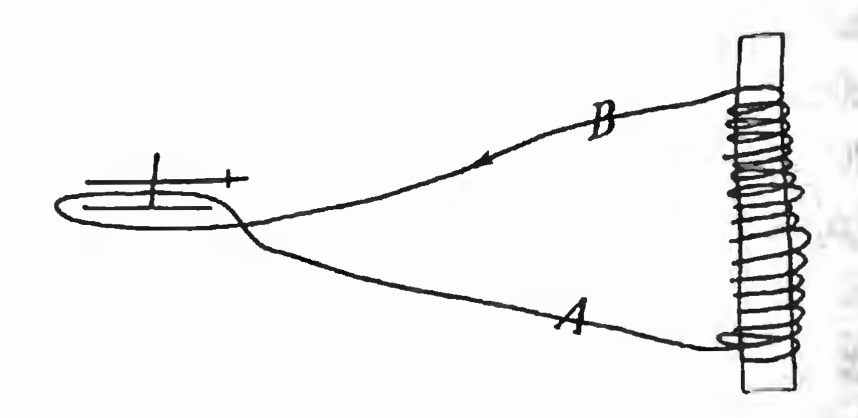
ان اكتشاف الخواص الجديدة فقط ، للافعال المغنطيسية

الكهربائية المتبادلة ، التى لم يكن فى المستطاع دون صعوبات بالغة ، ان نشرحها بلغة التأثير عن بعد او المدى البعيد (كما تم بالفعل بالنسبة لقوانين كولون وأمبير) ، قد غير الموقف تغييرا تاما . وقد ظهر ان المجالات الكهربائية والمغنطيسية ، مرتبطة مع بعضها البعض باقوى ارتباط ممكن . وباستطاعة المجال المغنطيسى فى حالات خاصة ، توليد المجال الكهربائى بدون مساعدة الشحنات ، كما باستطاعة المجال الكهربائى ان يولد المجال المغنطيسى مباشرة . هكذا تماما : ان المجال المغنطيسى يولد المجال الكهربائى فقط ، والمجال الكهربائى يولد المجال المغنطيسى فقط ، الذى بدوره يمكن ان يولد المجال الكهربائى ايضا . وهناك شىء ما يشبه ذلك فى دنيا الحشرات ، حيث يتحول الاسروع الى فراشة فقط ، والفراشة تضع البيض فقط ، الذى تفقس منه الاساريع ، ولكن الاساريع بالذات لا تضع اساريع مثلها مباشرة ، مثلها مثل الفراشات ايضا .

الحث المغنطيسى الكهربائى — ليس من قبيل الصدفة ان تكون الخطوة الاولى والاكثر اهمية فى اكتشاف هذه الناحية الجديدة للافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة ، قد تمت من قبل مؤسس وواضع الافكار الخاصة بالمجال المغنطيسى الكهربائى ، مايكل فاراداى ، الذى يعتبر من عباقرة العلماء فى العالم . لقد كان فاراداى واثقا تماما فى وحدة الظواهر الكهربائية والمغنطيسية . وبعد اكتشاف ارستيد ، سارع فاراداى الى كتابة ما يلى فى مذكرته عام ١٨٢١ : « تحويل المغنطيس الى كهرباء » . ومنذ ذلك الحين كان فاراداى يفكر فى هذه المسألة دون انقطاع . ويقال انه كان يحمل فى جيب صدريته باستمرار ، قطعة مغنطيس ، كانت تذكره دائما

فى المسألة التى يفكر فيها . وبعد عشر سنوات ، ونتيجة للعمل المتواظب والايمان بالنجاح ، تم حل المسألة . وقد توصل بذلك الى اكتشاف يعتبر اساس انشاء كافة مولدات المحطات الكهربائية فى العالم ، التى تحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة للتيار الكهربائى . اما المصادر الاخرى ، مثل الخلايا الجلفانية ، البطاريات ، الخلايا الكهربائية الضوئية والخلايا الكهربائية الحرارية ، تعطى جزءا ضئيلا جدا من الطاقة المنتجة .

ان التيار الكهربائى ، كما فكر فاراداى ، يستطيع مغنطة قطعة من الحديد . ويكفى لهذا الغرض ، ان نضع قطعة الحديد فى داخل الملف الكهربائى . ولكن الا تستطيع قطعة الحديد بدورها ، ان تؤدى الى ظهور التيار الكهربائى او تغيير قيمته ؟ لم يستطع فاراداى لمدة طويلة ان يعثر على شيء من هذا القبيل . وقد تدخلت بعض الصدف المعينة فى عرقلة الاكتشاف ، كما ستبين لنا الحقيقة الطريقة التالية : فى وقت واحد مع فاراداى تقريبا ، كان العالم الفيزيائى السويسرى كولادون يحاول ايضا الحصول على التيار الكهربائى بواسطة المغنطيس . واثناء عمله استخدم احد الجلفانومترات الذى كانت ابرته موضوعة فى داخل الملف



الكهربائي للجهاز . ولكي لا يبدي المغنطيس اي تأثير مباشر على الابرة ، مد كولادون طرفي الملف الذي وضع فيه المغنطيس للحصول على تيار كهربائي فيه ، الى الغرفة المجاورة ، حيث اوصلهما هناك مع الجلفانومتر . وبعد ان وضع المغنطيس في داخل الملف ، ذهب كولادون الى هذه الغرفة ، ورأى بحسرة ان مؤشر الجلفانومتر يشير الى الصفر . ولو كان طوال الوقت يراقب الجلفانومتر ، بعد ان يطلب من احد الاشخاص ان يعمل على وضع المغنطيس في داخل الملف ، لكان الاكتشاف الرائع قد ظهر الى الوجود . ولكن هذا لم يحدث . لقد كان باستطاعة المغنطيس الساكن بالنسبة للملف ، ان يبقى على وضعه الساكن في داخل الملف مئات السنين ، دون ان يولد فيه اي تيار كهربائي .

وقد قابلت فاراداي ايضا ، صدف مشابهة من نفس النوع ، لانه حاول عدة مرات الحصول على التيار الكهربائي بواسطة المغنطيس وبواسطة التيار في داخل موصل آخر ، ولكن باءت محاولاته بالفشل .

ان اكتشاف ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي كما دعاها فاراداي بالذات ، قد تم بتاريخ ٢٩ أغسطس عام ١٨٣١ * واليكم الوصف الموجز للتجربة الاولى : لف سلك نحاسي طوله ٢٠٣ قدم، على بكرة خشبية عريضة ، ولف بين لفات السلك النحاسي ، سلك آخر بنفس الطول ، لكنه معزول عن الاول بخيط قطني . وقد وصل احد هذين الحلزونين مع الجلفانومتر ،

---

* من الحالات النادرة تقريبا ، عندما يعرف بصورة دقيقة جدا مثل هذه ، تاريخ اكتشاف جديد رائع .

والحلزون الآخر مع بطارية قوية ، مؤلفة من ١٠٠ زوج من الالواح ... وعند قفل الدائرة الكهربائية ، امكن ملاحظة تأثير مفاجيء لكنه ضئيل للغاية فى الجلفانومتر ، ولوحظ نفس الشيء ايضا عند توقف التيار . اما عند المرور المستمر للتيار خلال احد الحلزونين ، لم يتمكن من ملاحظة اى تأثير على الجلفانومتر ولا اى تأثير حتى آخر بصورة عامة فى الحلزون الثانى ، بغض النظر عن ان تسخين كل الحلزون المربوط مع البطارية ، وسطوع الشرارة الناجمة بين الزوايا ، كانا بمثابة دليل على قوة البطارية » .

وهكذا تم فى البداية اكتشاف حثّ التيارات الساكنة بالنسبة لبعضها البعض . ونلاحظ هنا ، بان فاراداى بعد ان فهم بوضوح ان قفل وفتح الدائرة الكهربائية ، يناظران تقريب أو ابعاد الموصلات المحتوية على التيار ، امكنه ان يثبت بالتجربة ان التيار ينشأ عند تحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض وبعد التعرف على ابحاث أمبير ، ادرك فاراداى ايضا بان التيار هو عبارة عن مغنطيس ايضا ، اما المغنطيس بدوره فهو عبارة عن مجموعة من التيارات الكهربائية . وفى ١٧ اكتوبر كما جاء فى مذكرته المختبرية ، تم اكتشاف تيار حثى فى الملف ، فى لحظة ادخال (او اخراج) المغنطيس .

وخلال شهر واحد اكتشف فاراداى بصورة تجريبية ، كافة الخصائص الجوهرية لهذه الظاهرة . وقد كتب تندال صديق فاراداى بهذا الصدد يقول : « لقد طاف عقله الجبار فى مجال واسع ، وما كاد يترك لاتباعه اى شيء يجمعوه حتى ولو بقايا من الحقائق » . ولم يبق سوى اعطاء القانون صيغة كمية دقيقة والكشف نهائيا عن الطبيعة الفيزيائية لهذه الظاهرة . وقد استطاع فاراداى بالذات ، ان يدرك ذلك الشيء العام الذى يعتمد عليه ظهور التيار الحثى فى

هذه التجارب التى تبدو مختلفة من حيث مظهرها . ويظهر تيار فى الخط المحيطى عند تغيّر عدد خطوط القوى فى المجال المغنطيسى ، التى تخترق المساحة المحصورة داخل ذلك الخط المحيطى (وعلى الاخص عند تغيّر قيمة المجال المغنطيسى الذى يخترق الخطوط المحيطية) .

وكلما زادت سرعة تغير هذا العدد ، يزداد بذلك التيار . وسبب تغير عدد خطوط القوى ، لايهم بتاتا . وقد يكون ذلك ايضا تغير قوة التيار (ومجاله تبعا لذلك) وتقارب الملفات وحركة المغنطيس .

وفارادى لم يكتشف الظاهرة المذكورة فحسب ، بل كان اول من صمم نموذجا لم يكن متقنا بعد ، لمولد التيار الكهربائى ، الذى يحول طاقة الدوران الميكانيكية الى تيار كهربائى . وكان ذلك عبارة عن قرص نحاسى جسيم ، يدور بين قطبى مغنطيس قوى . وبربط محور وطرف القرص بالجلفانومتر ، لاحظ فارادى تحرك المؤشر وانحرافه . لقد كان التيار فى الحقيقة ضعيفا ، ولكن المبدأ المكتشف ساعد فيما بعد على تصميم وانشاء مولدات كهربائية قوية جدا . ولو تلك المولدات ، لكانت الكهرباء حتى يومنا هذا ، من الكماليات التى لا يحصل عليها الا القليل من الناس .

اتجاه التيار الحثى وحفظ الطاقة – ان التيار الحثّى الناشىء يبدأ فى الحال بتبادل الفعل مع التيار او المغنطيس الذى ولدّه . ولو قربنا المغنطيس (او الملف المحتوى على تيار) من موصل مقفل ، فان التيار الحثى الناشىء هنا ، يدفع المغنطيس حتما . ولاجل الاقتراب لابد من انجاز شغل . وعند ابعاد المغنطيس ينشأ تجاذب او شد . وهذه القاعدة التى وضعها العالم لينتس ، تطبق بصورة لا مساس فيها مطلقا . ولنتصور بان الامر قد حدث لبس

بالطريقة التي ذكرناها : دفعنا المغنطيس نحو الملف ، وهو بالذات سيندفع الى داخله ، وهنا فجأة يختل على سبيل المثال قانون حفظ الطاقة . ان الطاقة الميكانيكية للمغنطيس ، كانت ستزداد وفي نفس الوقت كان سينشأ تيار ، الامر يتطلب بالذات صرف طاقة معينة ، لان التيار ايضا يمكن ان ينجز شغلا معينا . وقد نظمت الطبيعة بحكمة اتجاه التيار الحثي ، وذلك لاجل المحافظة على احتياطيات الطاقة . ان التيار المستحث في عضو انتاج مولد المحطة الكهربائية ، بتبادله الفعل مع المجال المغنطيسي لبادىء الحركة (Starter) يعرقل او يوقف دوران عضو الانتاج . ولهذا السبب بالذات ، يجب لاجل دوران عضو الانتاج ، ان ينجز شغلا ، كلما زاد مقداره ، زادت قوة التيار .

ومن الطريف ان نشير هنا ، الى انه لو كان المجال المغنطيسي للكرة الارضية ، كبيرا جدا وغير متجانس الى حد بعيد ، لكانت الحركات السريعة التي توصل الاجسام الى سطح الارض والى الجو ، مستحيلة الحدوث بسبب الفعل المتبادل الشديد بين التيار المستحث في الجسم وهذا المجال . وستصبح الاجسام في هذه الحالة ، كما لو كانت في وسط لزج ، وكانت ستسخن بشدة في مثل هذه الظروف . وما كان في مستطاع الطائرات او الصواريخ في مثل هذه الحالة ان تنطلق في الجو . ولما تمكن الانسان من تحريك رجليه او يديه بسرعة ، وذلك لان جسم الانسان ، يعتبر بمثابة موصل غير رديء .

واذا كان الملف الذي يمر فيه التيار ساكنا بالنسبة للملف المجاور له ذي التيار المتناوب ، كما في المحول الكهربائي على سبيل المثال ، ففي هذه الحالة ايضا سيخضع اتجاه التيار الحثي

لقانون حفظ الطاقة . وهذا التيار يكون دائما متجها بالطريقة التى تجعل المجال المغنطيسى الذى ينجم عنه ، يحاول تقليل تغير التيار فى اللفيفة الاولية .

طبيعة الحث المغنطيسى الكهربائي - بعد اكتشاف فاراداى لقانون الحث المغنطيسى الكهربائى مباشرة ، حاول العلماء اعطاؤه صيغة كمية دقيقة ، اى وضعه فى صيغة رياضية دقيقة . والآن يصعب علينا ان نتصور تلك الجهود المضنية ، التى كانت ضرورية لصياغة ذلك القانون بلغة المفهوم العام او فرضية التأثير عن بعد . وفى نهاية المطاف ، تم الحصول (من قبل العالمين نيمان وفيبير) على صيغ معقدة الى اكبر درجة من حيث محتواها الفيزيائى ولكنها مع ذلك تساعد على الوصف الكمى للحقائق التجريبية او العملية . وفى الوقت الحاضر ، لا يمكن العثور على تلك الصيغ الا فى الكتب الخاصة بتاريخ علم الفيزياء .

ان المعنى الحقيقى لقانون الحث المغنطيسى الكهربائى ، كان قد حدد من قبل العالم ماكسويل . وهو ايضا الذى وضع القانون فى تلك الصيغة الرياضية البسيطة والواضحة ، المستندة الى الافكار الخاصة بالمجال ، والتى يستخدمها العالم برمته فى الوقت الحاضر .

والآن لنحاول ان نتصور نوع المناقشات التى استطاع بواسطتها ماكسويل ، ان يرى فى ظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى ، خاصية اساسية جديدة للمجال المغنطيسى الكهربائى . لنفرض ان لدينا محولا كهربائيا عاديا . وعندما نربط اللفيفة الاولية فى شبكة التيار الكهربائى ، نجد حالا ان التيار الكهربائى يسرى فى اللفيفة الثانية المجاورة ، عندما تكون مقفلة فقط . وهنا تتحرك الالكترونات الموجودة فى اسلاك هذه اللفيفة .

ولكن الالكترونات لا تعرف قانون الحث المغنطيسى الكهربائى .
وباختصار ، ما هى القوى التى تحرك الالكترونات ؟ ان المجال المغنطيسى بالذات ، الذى يخترق الملف ، لا يستطيع القيام بهذا العمل . وذلك لأن المجال المغنطيسى يؤثر فقط على الشحنات المتحركة (وهذا بالذات ما يميّزه عن المجال الكهربائى) ، أما الموصّل مع الالكترونات الموجودة فيه ، فهو ساكن لا يتحرك .

ولكن الامر يختلف عن ذلك في الحقيقة ، اذ انه ليس بهذه السهولة . وفى الموصل الساكن ايضا ، نجد بان الالكترونات تقوم بحركة فوضوية ، اى غير منتظمة ، ولكن معدل سرعة مثل هذه الحركة يساوى صفرا ، وذلك لان عدد الالكترونات المتحركة فى اى اتجاه معلوم ، يساوى فى المعدل عدد الالكترونات المتحركة فى الاتجاه المعاكس لذلك الاتجاه . وبناء على ذلك ، نجد ان التيار الناجم مباشرة عن المجال المغنطيسى ، يجب ان يساوى صفرا كذلك .

ما الذى يؤثر هنا اذن ؟

كما نعرف انه بالاضافة الى تأثير المجال المغنطيسى فى الشحنات ، يؤثر فيها المجال الكهربائى ايضا . ويمكن تماما ان يؤثر فى الشحنات الساكنة ايضا . وهذه هى خاصيته الاساسية . ولكننا نجد بان ذلك المجال الذى تحدثنا عنه اعلاه (المجال الالكتروستاتى) ، يتولد مباشرة من الشحنات الكهربائية ، اما التيار الحثى ، فيظهر بتأثير المجال المغنطيسى المتناوب . ولكن يا ترى الا تلعب دورا هنا ، بعض المجالات الفيزيائية الاخرى ، حالما تصبح فكرة التأثير عن قرب راسخة تماما ؟ سوف لا نتعجل هنا في استخلاص النتائج ، ونلجأ عند اول صعوبة تلاقينا الى

البحث عن خلاص في التفكير بوجود مجالات جديدة ، كما فعلنا في وقتها ووجدنا مخرجا من كافة المآزق ، في ادخال وابتكار قوى جديدة . ذلك لاننا لا نملك اية ضمانة في ان تكون كافة الخواص الاساسية للمجال المغنطيسي والمجال الكهربائي ، معروفة تماما . وفي قوانين كولون وأمبير ، التي تحتوي على المعلومات الاساسية عن خواص المجال ، يوجد ذكر للمجالات الساكنة .

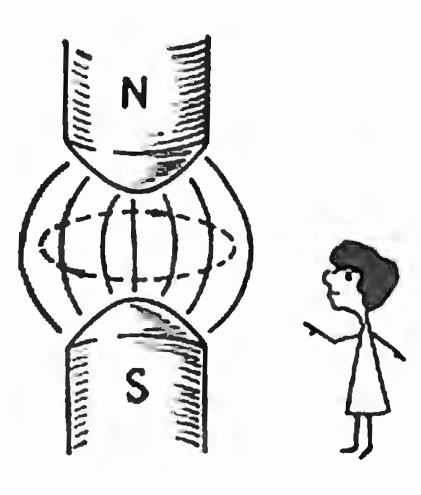
والآن ماذا لو ظهرت خواص جديدة لدى المجالات المتناوبة ؟ سوف نأمل بان فكرة وحدة المجالات الكهربائية والمغنطيسية ، الناجحة لحد الآن ، ستبقى ناجحة في المستقبل أيضا .

عندئذ تبقى الامكانية الوحيدة فقط ، وهي الافتراض بان الالكترونات تتسارع في اللفيفة الثانية بواسطة المجال الكهربائي وهذا المجال يتولد عن المجال المغنطيسي المتناوب في الفراغ الخالي مباشرة . وبذلك تتأكد الصفة الاساسية الجديدة للمجال المغنطيسي : عندما يتغير بمرور الزمن ، يولد حوله مجالا مغنطيسيا .

والآن تبدو امامنا ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي ، بثوب جديد تماما . والشيء الاساسي هو انها عملية تجرى في الفراغ الخالي : ولادة المجال الكهربائي من المجال المغنطيسي . ان وجود خط محيطي موصل (ملف) او عدم وجوده ، لا يغير من حقيقة الامر . والموصل مع احتياطيه من الالكترونات الطليقة - ما هو الا مؤشر (مسجل) للمجال الكهربائي الناجم : انه يحرك الالكترونات في الموصل وبذلك يكشف عن نفسه .

ان حقيقة ظاهره الحث المغنطيسي الكهربائي لا تتمثل البتة في ظاهرة التيار الحثي ، بل انها تتمثل في ظهور المجال الكهربائي .

المجال الكهربائي الدوراني — ان المجال الكهربائي الناجم



عند تغير المجال المغنطيسى ، يتميّز ببنية مختلفة تماما عن المجال الالكتروستاتى . وهو غير متصل مباشرة بالشحنات الكهربائية ، وخطوط القوى التابعة له لا يمكن ان تبدأ وتنتهى عندها . وهى بصورة عامة لا تبدأ فى اى مكان ولا تنتهى عند اى مكان ، معبرة عن نفسها بخطوط مقفلة تشبه خطوط القوى فى المجال المغنطيسى . وهذا ما يسمى بالمجال الدورانى (Rotational field).

وعند تغير مجال مغنطيسى قوى ، تظهر دوامات قوية للمجال الكهربائى ، يمكن استخدامها لتعجيل أو لتسريع الالكترونات والوصول بها الى سرعات قريبة من سرعة الضوء . وعلى هذا المبدأ يقوم تصميم مسارع الالكترونات ـ جهاز البيتاترون * (Betatron). ان التيار الكهربائى فى جهاز البيتاترون ، ينشأ مباشرة فى حجرة التفريغ بدون اية موصلات سلكية .

وقد يتبادر الى الذهن السؤال التالى : لماذا يسمى هذا المجال على وجه الخصوص بالمجال الكهربائى ؟ انه يتميز باصل مختلف ومظهر خارجى آخر ، عما هو عليه فى المجال الكهربائى الاستاتى . ان الجواب بسيط : المجال الدورانى يؤثر على الشحنة تماما مثل تأثير المجال الالكتروستاتى ، وهذا ما اعتبرناه ونعتبره الآن ، الخاصيّة الاساسية للمجال .

* جهاز البيتاترون ـ هو جهاز يستخدم لاضفاء السرعات الفائقة على الالكترونات ـ المترجم .

وهناك سؤال طبيعي آخر : ان كل ما قلناه لا يعتبر فى نهاية المطاف سوى فرضية لا يقوم الدليل الواضع على صحتها تماما . هل يمكن ان يكون الامر اذن ليس كذلك ؟ اننا لا نحس بالمجال الكهربائى بالذات ، ونحكم على وجوده استنادا الى القوى المؤثرة فى الجسيمات المشحونة !

ولكن ذلك يعتبر فى الحقيقة الشك السابق فى حقيقة وجود المجالات بصورة عامة ، الذى عبر عنه انصار التأثير عن بعد . والنقض الحاسم لهذا الشك ، يتمثل فى وجود الموجات المغنطيسية الكهربائية ، الذى فى عملية ظهورها بالذات ، تلعب الدور الاساسى ولادة المجال المغنطيسى من قبل المجال المغنطيسى المتناوب .

ليس لكافة الاسئلة معنى — ان المجال المغنطيسى المتناوب يولد دوامات المجال الكهربائى . وليكن الامر كذلك . ولكن الا يبدو للقراء بان التأكيد على ذلك وحده لا يكفى هنا ؟ وبودنا ان نعرف ايضا ، ما هى آلية العملية المذكورة ؟ الا يمكن كذلك التعرف على كيفية حدوث هذا الاتصال بين المجالات فى الطبيعة ؟ وهنا نجد بأن حب الاستطلاع الطبيعى هذا لدى القارىء لا يمكن ان يتحقق . ذلك لانه لا توجد هنا اية آلية على الاطلاق . ان قانون الحث المغنطيسى الكهربائى — هو القانون الاساسى للطبيعة . وهذا يعنى انه قانون اولى اساسى . وبتطبيق هذا القانون ، يمكن تفسير عدد كبير من الحقائق ، ولكنه بالذات يبقى بدون تفسير ، لسبب واحد هو عدم وجود قوانين اخرى اكثر رسوخا منه يمكن له ان يكون ناجما عنها او يصبح نتيجة لها . وعلى اية حال ، لا يعرف الآن اى شيء عن وجود مثل هذه القوانين . وهذا هو بالذات

مصير كافة القوانين الاساسية الاخرى مثل قانون الجاذبية ، قانون كولون ، قانون أمبير وغيرها .

وبامكاننا طبعا ان نطرح امام الطبيعة اية اسئلة تخطر على بالنا ، ولكن ليس لكافة الاسئلة معنى . وعلى سبيل المثال يمكن بل من الضرورى ان نبحث فى اسباب الظواهر المختلفة ، ولكن عندما نحاول ان نعرف بصورة عامة سبب وجود تعليل او سببية ، فهذا بدون طائل . هذه هى طبيعة الاشياء ، وهذا هو العالم الذى نعيش فيه .

حول التشابه ـ لقد رأى ماكسويل ولادة المجال الكهربائى من المجال المغنطيسى فى ظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى . وقد قام بالخطوة التالية الاخيرة فى اكتشاف الخواص الاساسية للمجال المغنطيسى الكهرباى بدون اية ارشادات من ناحية التجربة .

وليس من المعروف بالضبط ما هى الآراء التى استند اليها ماكسويل فى هذا الاجراء . ربما كانت هى نفس تلك الآراء التى استند اليها ماكسويل فى هذا الاجراء . ربما كانت هى نفس تلك الآراء التى اضطرت بنائى جسر انيجكوف فى مدينة لينينغراد الى صف تماثيل الخيول المروضة على جانبى الطريق ، ونفس تلك التصورات التى لا تسمح لنا بحشر اشياء كثيرة جدا فى احد نصفى الغرفة على حساب النصف الثانى . وليست هذه سوى تصورات التشابه ، لكنه فقط ذلك التشابه الذى نفهمه ليس من وجهة النظر الهندسية الضيقة ، بل من وجهة نظر اوسع .

ان خواص التماثل راسخة بعمق فى الطبيعة ، والظاهر ان هذا السبب بالذات هو الذى جعلنا نحس بالتماثل على انه بمثابة تناسق العالم المحيط بنا . وفى الظواهر المغنطيسية الكهربائية ، يجرى

الحديث طبعا ليس عن ذلك الجمال الخارجي وتلك الاناقة التي قد يعود وجودها الى اننا نراقب الاشياء مباشرة بواسطة اعضائنا الحسية او حواسنا . وقد يدور الحديث هنا عن الاناقة الداخلية والتناسق الذي يكشف الطبيعة امام الانسان ، الذي يحاول ادراك قوانينها الاصلية . وبشعور الانسان بهذا التناسق في الطبيعة ، فانه سيحاول بطبيعة الحال ان يراها ايضا في ذلك المكان ، الذي لا يمكن فيه للحقائق بعد ان تكشف عنها بوضوح تام .

ان المجال المغنطيسي يولد المجال الكهربائي ولكن الا توجد في الطبيعة عملية معاكسة لذلك ، عندما يقوم المجال الكهربائي المتناوب بدوره بتوليد المجال المغنطيسي ؟ وهذه الفرضية التي تمليها علينا افكار التشابه ، تشكل اساس فرضية ماكسويل المعروفة حول تيارات الازاحة .

تيار الازاحة – لقد افترض ماكسويل بان مثل هذه العملية تحدث فعلا في الطبيعة . وقد اطلق ماكسويل على المجال الكهربائي المتناوب في الفراغ او في داخل العازل الكهربائي ، اسم تيار الازاحة . وقد سماه بالتيار لان هذا المجال يولد مجالا مغنطيسيا ، تماما مثل التيار العادي . (بهذا يبدأ وبهذا ينتهي ايضا تشابه تيار الانحراف مع التيار التوصيلي . ان كلمة « انحراف » هنا ، تدل من ناحية على ان هذا التيار هو تيار غير عادي ، بل هو شيء خاص ، ومن ناحية اخرى تذكرنا بذلك الزمن البعيد الذي اقترن فيه تغير المجال الكهربائي في الفراغ بانحراف جسيمات الاثير الفرضي . وقد بقي برهان ماكسويل مدة طويلة من الزمن بمثابة فرضية لا غير . ولكنها فرضية نستطيع ان نصفها الآن بكل حق بانها عبقرية : لقد ثبت بالتجربة انها صحيحة الى درجة مطلقة .

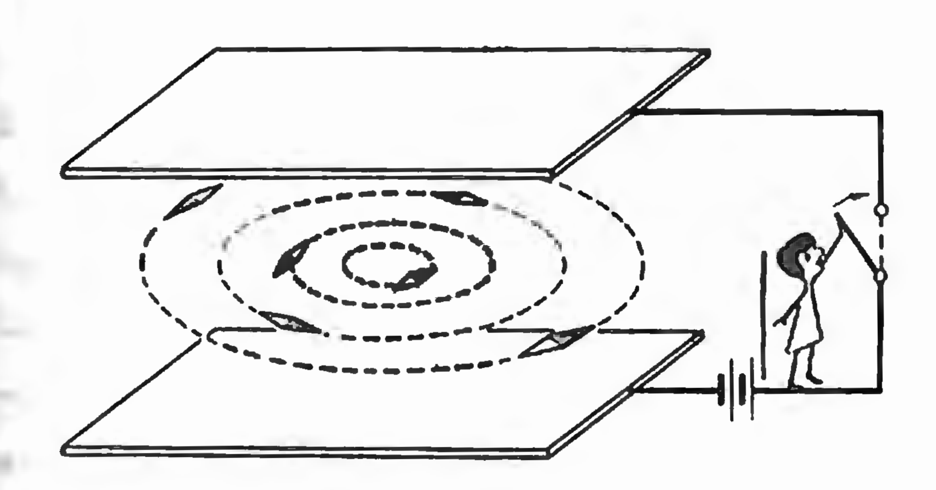
وربما يبدو الآن بانه لا يوجد اى شيء غير عادى فى هذه الفرضية ، ينفى امكانية وجود مثل هذا التخمين بالذات . ولكن الم يستطع اى عالم كان ان يصرح بها ؟ لا ! لاننا لا يجب ان ننسى ان احتمال وجود هذه الفرضية ، نشأ فقط بعد تفسير الحث المغنطيسى الكهربائى على اساس الافكار الخاصة بالمجال . وقد حصل ذلك فى الوقت الذى لم يعط فيه معظم العلماء المشهورين اية اهمية خاصة بصورة عامة ، لمفهوم المجال ، وفى الوقت الذى سبق لحظة اثبات وجوده عمليا ، بما يزيد على عشر سنوات .

ان ماكسويل لم يفصح عن هذه الفرضية فحسب بل صاغ كذلك فى الحال القانون الكمى الذى يحدد قيمة المجال المغنطيسى استنادا الى سرعة تغير المجال الكهربائى .

ولا يمكن الا ان نندهش لذلك التتابع الفريد والاصرار ، ذلك الايمان بصحة افكاره ، التى اظهرها ماكسويل اثناء صياغة قوانين المجال المغنطيسى الكهربائى . حتى منذ البداية بالذات ، عندما بدا ماكسويل بدراسة علم المغنطيسية الكهربائية بعد عمله الناجح فى مجال النظرية الحركية الجزيئية للعناصر ، قرر فى الحال ان يقرأ فقط الابحاث التجريبية ولا يقرأ الابحاث النظرية ، لكى لا تظهر اية احكام مسبقة فيما يتعلق بقوانين هذه الظواهر . ان طريقة البحث هذه كانت مثمرة بصورة مدهشة وساعدت ماكسويل على تكوين وجهة نظره المتكاملة الخاصة ، نحو العمليات المغنطيسية الكهربائية * .

---

* ولكن من المستبعد ان تقترح مثل هذه الطريقة الآن للاستخدام على نطاق عام شامل . اولا لانه فى ذلك الوقت ظهر علم جديد تماما ، هو علم المغنطيسية الكهربائية بمواصفاته الخاصة . وولادة علم جديد فى موضع كان خاليا من قبل . وثانيا ، ليس كل انسان مثل ماكسويل مع الاسف .



وقد استطاع ماكسويل بشجاعة ان يبنى نظريته الكمية على اساس شيء (مجال) لم يثبت وجوده عمليا بعد . وبتقدمه خطوة بعد خطوة فيما بعد ، وبالاستناد الى القوانين التى ثبتت صحتها بالتجربة ، وصل الى هدفه النهائى . ان فرضية تيارات الازاحة ، كانت الحلقة المبدئية الاخيرة . وهنا اكسب ماكسويل الشيء او الموضوع الفرضى ، خاصية فرضية جديدة ، بدون ان تكون لديه خلافا للحالات السابقة ، اية ارشادات او توجيهات تجريبية يستند اليها فى هذا العمل .

ان التصرف بهذه الطريقة عامة ، يجعل من السهل الانتقال من مجال العلم الى مجال الخيال ، الا اذا لم يعرف مسبقا منذ البداية ، الاتجاه الصحيح . وهذا الامر لن يعرف مسبقا على الاطلاق . ان قابليات الانسان العبقرى تظهر قبل كل شيء ، فى اختيار الاتجاه بالذات عند بناء النظرية .

وهكذا تم اكتشاف خاصية اساسية اخرى من خواص المجال المغنطيسى الكهربائى ، لا يمكن تحليلها الى خواص اكثر بدائية منها . ان المجال الكهربائى المتناوب يولد فى الفراغ الخالى مجالا مغنطيسيا يحتوى على خطوط قوى مقفلة (مجال دورانى) . وفى

المجال الكهربائي النامي تشكل خطوط قوى المجال المغنطيسي ، اللولب الايمن مع المجال ، خلافا للولب الايسر للمجال في ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي . وسوف نوضح فيما بعد المغزى العميق لذلك . ان البرهان على واقعية فرضية ماكسويل ، يكمن في وجود الموجات المغنطيسية الكهربائية . وتيار الازاحة والحث المغنطيسي الكهربائي برمتهما يحددان امكانية وجودهما بالذات .

المجال المغنطيسي الكهربائي — بعد اكتشاف العلاقة المتبادلة بين المجالين الكهربائي والمغنطيسي تصبح الحقيقة التالية واضحة : هذان المجالان هما ليس بمثابة شيئين منفردين ، مستقلين عن بعضهما البعض . بل هما مظهر واحد متكامل ، يمكن ان نسميه بالمجال المغنطيسي الكهربائي .



ولنفرض وجود مجال كهربائي غير متجانس في منطقة ما من الفراغ ، وقد تولد من شحنة غير معينة مستقرة بالنسبة للارض . ولا يوجد مجال مغنطيسي حول هذه الشحنة . ولكن هذا الامر سيكون كذلك بالنسبة للارض فقط . (هذا الكلام متعارف عليه في نظام الاسناد الارضي) . وبالنسبة للمراقب المتحرك سيظهر المجال غير المتجانس ولكن الثابت بمرور الزمن ، بمثابة مجال متناوب او متغيّر هذه المرة . ولكن المجال الكهربائي المتناوب يولد المجال المغنطيسي ، وهكذا سيجد المراقب المتحرك ، مجالا مغنطيسيا الى جانب المجال الكهربائي .

وبهذه الطريقة تماما نجد ان المغنطيس الموجود على سطح الارض لا يولد الا مجالا مغنطيسيا فقط ، ولكن ، المراقب المتحرك بالنسبة اليه يكتشف وجود مجال كهربائي ايضا باتفاق تام مع ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي .

وهذا يعني بان التأكيد على وجود مجال كهربائي فقط في نقطة معينة من الفراغ (او مجال مغنطيسي) هو تأكيد بدون معنى . اذ يجب ان نضيف هنا : بالنسبة لنظام اسناد معين .

ان عدم وجود المجال الكهربائي في نظام الاسناد الذي يضم مغنطيسا ثابتا او مستقرا ، لا يعني البتة عدم وجود مجال كهربائي بصورة عامة . ذلك لانه يمكن وجود هذا المجال بالنسبة لاي نظام متحرك بالنسبة للمغنطيس .

ومثلما تتغير الوان المنظر الطبيعي المحيط بنا ، عندما ننظر اليه من خلال الزجاجات الملونة المختلفة ، تتغير كذلك قيمة وشكل المجالات عند انتقالنا من نظام اسناد معين الى نظام آخر .

ومثلما تصبح الاشياء الزرقاء غير مرئية عندما ننظر اليها من

خلال زجاجة حمراء ، نستطيع فى عدد من الحالات ، باختيار نظام الاسناد الملائم ، ان نجعل المجال المغنطيسى غير ظاهر . ويتلخص فى شيء واحد لكنه مهم جدا . اننا نستطيع ان نترك الزجاجات الملونة ونقول ما يلى : هذه هى الالوان الحقيقية للمنظر الطبيعى ، ها هو ذا على طبيعته الحقيقية ! ويمكن بكل حق ان نعتبر احد المرشحات الضوئية (الجو) بمثابة مرشح ممتاز . ولكننا لا نستطيع ان نفعل نفس الشيء بالنسبة لنظام الاسناد . ان كافة انظمة الاسناد تتمتع بنفس الحق فى البقاء . لذلك ليس هناك اى شكل خاص معين للمجالات ، له اهمية مطلقة دون الاعتماد على نظام الاسناد .

٨ — الموجات المغنطيسية الكهربائية

بيكون وقوانين الطبيعة — ان القوانين الطبيعية الاساسية ، التى من بينها تلك القوانين التى اكتشفها ماكسويل وهى القوانين المغنطيسية الكهربائية ، تتميز من الناحية التالية : « انها يمكن ان تعطى اكثر مما تحتوى عليه المادة التى استنتجت منها » . وبفضل ذلك بالذات ، اصبح العلم قابلا للوجود والتطور . وبالفعل لو كان كل قانون (كما جاء على لسان كوزما بروتكوف) شبيها بالسجق ، يحتوى فقط على ما حشى به ، لكان عدد القوانين مساويا لعدد الظواهر الطبيعية ، ولحصلنا بدل العلم الحديث المعاصر ، على تراكم شاسع للمعلومات المتعلقة بالعمليات المراقبة فى الطبيعة ، ولكننا لم نستطع التنبؤ باى شيء .

ان هذه الحقيقة تمس مغزى العلم بالذات ، وبهذا السبب

اصبحت ضرورة وجوده مفهومة ، قبل ان تتم صياغة القوانين الميكانيكية . ان الاقوال المذكورة اعلاه جاءت على لسان الفيلسوف الانجليزى بيكون ، وقد صرح بها قبل ظهور بحث نيوتن الذى عنوانه « الاوليات الرياضية للفلسفة الطبيعية » .

كيف ينتقل الفعل المغنطيسى الكهربائى المتبادل – من بين النتائج التى لا تحصى ، الناجمة من المعادلات الخاصة بالمجال المغنطيسى الكهربائى التى وضعها ماكسويل ، توجد نتيجة على درجة كبيرة من الاهمية ، كان من الصعب التنبؤ بها مسبقا . وقد تضمنت كما اكتشف ذلك ماكسويل بالذات ، وجود حد (محدودية) لسرعة انتشار الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة . واستنادا الى نظرية التأثير عن بعد نجد ان قوة كولون المؤثرة فى الشحنة الكهربائية تتغير فى الحال عندما تنحرف الشحنة المجاورة عن مكانها . ولا يمكن ان يحدث اى شيء مخالف لذلك من وجهة نظر التأثير عن بعد . وذلك لان كل شحنة « تشعر » عبر الفراغ مباشرة بوجود الشحنة الاخرى . واستنادا الى ابحاث ماكسويل فان الامر يختلف عن ذلك تماما واصعب من ذلك بكثير . ان انحراف الشحنة يغير المجال الكهربائى الموجود بقربها . وهذا المجال الكهربائى المتناوب (تيار الازاحة) يولد مجالا مغنطيسيا متناوبا فى المناطق المجاورة فى الفراغ .

والمجال المغنطيسى يولد بدوره مجالا كهربائيا متناوبا طبقا للتفسير المجالى لظاهرة الحث المغنطيسى الكهربائى ، والمجال الكهربائى بدوره يولد مجالا مغنطيسيا وهلم جرا . وهنا نجد ان دوامات المجال المغنطيسى (او الكهربائى) الناشئة تخمد المجال فى الاماكن التى كان موجودا فيها ، لكنها تحتل اماكن جديدة

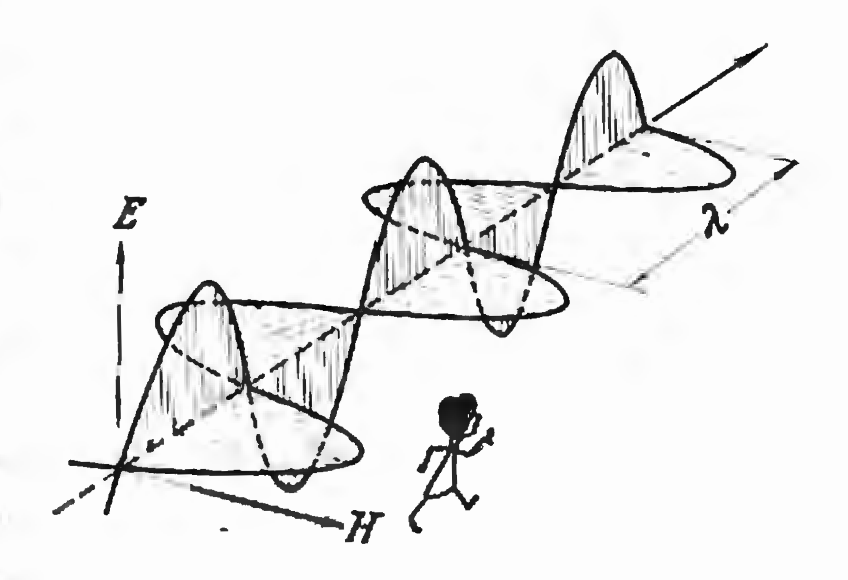
من الفراغ . ان كل ذلك يحدث طبقا لقوانين تحديد اتجاهات المجالات ، التى تحدثنا عنها سابقا . ولو كانت المجالات متجهة بصورة اخرى ، لادى هذا الى الاخلال بقانون حفظ الطاقة . ولازداد تطور المجال المغنطيسى المتولد فى الفراغ بمرور الزمن ، وتوزع الى كافة الاتجاهات فى نفس الوقت .

ان انحراف الشحنة يبعث بهذه الطريقة الحياة فى « قابليات » المجال المغنطيسى الكهربائى ، التى كانت نائمة قبل ذلك ، ونتيجة لذلك نجد ان صوت موجات هذا المجال ، بانتشاره فى الفراغ ، يشغل مناطق اوسع فاوسع من الفراغ المحيط ، منضما الى طريق ذلك المجال الذى كان موجودا قبل ازاحة الشحنة . واخيرا يصل صوت الموجات هذا الى الشحنة الثانية ، مما يؤدى الى تغير القوى المؤثرة . ولكنّ هذا يحدث ليس فى نفس اللحظة الزمنية التى حدثت فيها ازاحة الشحنة الاولى .

ان عملية انتشار الاضطراب او التشويش المغنطيسى الكهربائى ، التى اكتشف ماكسويل آليته ، تتم بسرعة محدودة ، بالرغم من كونها سرعة كبيرة جدا .

كيف تنشأ الموجة المغنطيسية الكهربائية ـ لقد بيّن ماكسويل باستخدام القلم ومعادلات المجال المغنطيسى الكهربائى فقط ، بطريقة رياضيّة بحتة ، ان سرعة انتشار هذه العملية تساوى سرعة الضوء فى الفراغ ، وتساوى ثلاثمائة الف كيلومتر فى الثانية الواحدة .

وهذه هى خاصية اساسية جديدة للمجال ، تجعله اخيرا محسوسا واقعيا . ويمكن اجراء تجربة خاصة لقياس الزمن اللازم لانتشار موجة الاضطراب بين شحنتين من الشحنات . ولكن فى الحقيقة من المشكوك فيه ان تنجح مثل هذه التجربة من الناحية



العملية ، وذلك لان السرعة هائلة جدا . ولكن هذا الامر ليس جوهريا الى درجة كبيرة . المهم هو انه قد ظهرت لاول مرة امكانية اثبات وجود المجال بطريقة التجربة . وحين تتوفر هذه الامكانية ، فانه سيكون فى المستطاع عاجلا ام آجلا ، العثور على وجه من اوجه التجربة ، يمكن تحقيقه بالفعل . وهذا ما حدث بالفعل ، عندما تمكن العالم هيرتز من الحصول على الموجات المغنطيسية الكهربائية .

وليتصور القارىء ان الشحنة الكهربائية لم تتنقل فحسب من نقطة الى اخرى ، بل اخذت تتذبذب بسرعة بمحاذاة مستقيم ما ، بحيث يتحرك مثل الثقل المعلق فى زنبرك ، ولكن حركته اسرع بكثير . عندئذ يبدأ المجال الكهربائى الواقع على مقربة مباشرة من الشحنة ، بالتغير دوريا . وفترة هذه التغيرات ستساوى كما يظهر فترة ذبذبات الشحنة . وسيقوم المجال الكهربائى بتوليد المجال المغنطيسى المتغير بالتناوب ، وهذا بدوره سيؤدى الى ظهور المجال الكهربائى المتناوب ، على مسافة ابعد من الشحنة

وهلم جرا . وفى الفراغ المحيط بالشحنة ، الذى يشغل منطقة اوسع فاوسع ، تنشأ مجموعة من المجالات الكهربائية والمغنطيسية المتغيرة بالتناوب (ان اللقطة الفوتوغرافية لمثل هذه المجموعة ، معروفة لدى كثير من القراء على اغلب الظن) وهذه العملية تنتشر بسرعة الضوء . وبذلك يتشكل ما نسميه بالموجة المغنطيسية الكهربائية ، التى تسرى فى كافة الاتجاهات المبتعدة عن الشحنة المتذبذبة . وفى كل نقطة من الفراغ ، تتغير المجالات الكهربائية والمغنطيسية تغيرا متناوبا بمرور الزمن ، ولكن بما انه كلما زاد بعد النقطة عن الشحنة ، تأخر وصول ذبذباتها الى المجالات ، ولذلك نجد ان الذبذبات الواقعة على مسافات مختلفة من الشحنة ، لا تحدث فى نفس الوقت ، اى بصورة تزامنية .

وكان ماكسويل راسخ العقيدة فى حقيقة الموجات المغنطيسية الكهربائية ، ولكن لم يقدر له ان يعيش ليرى اكتشافها بعينه . وقد توفى فى مقتبل عمره تقريبا ، قبل عشر سنوات من اليوم الذى استطاع فيه العالم هيرتز ان يثبت بالتجربة لاول مرة ، وجود الموجات المغنطيسية الكهربائية .

الفعل المتبادل بواسطة الموجات المغنطيسية الكهربائية —

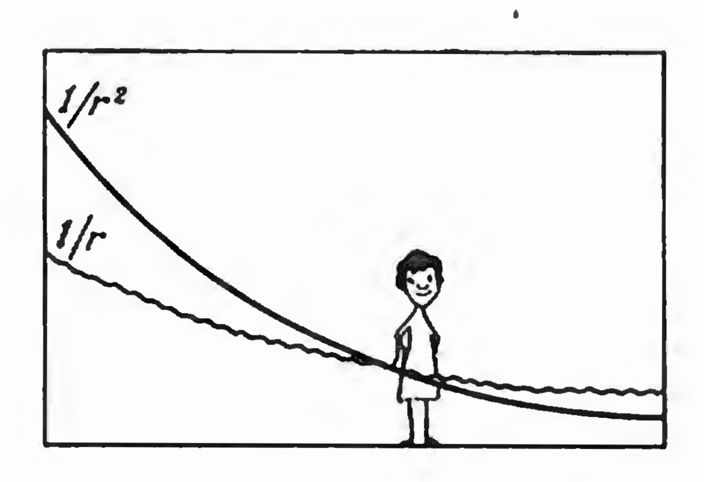
باستخدام الموجات المغنطيسية الكهربائية يستحدث نوع جديد تماما من الفعل المتبادل بين الشحنات الكهربائية . وتشع موجات من قبل الشحنات الكهربائية المتذبذبة ، وبالتالى الشحنات التى تتغير سرعتها بمرور الزمن — الشحنات المتحركة بتسارع معين . ان التسارع ، هو الشرط الاساسى لولادة الموجات المغنطيسية الكهربائية . والمجال المغنطيسى الكهربائى يشع ليس عند تذبذب الشحنة فقط ، بل كذلك عند اى تغيّر حاد فى سرعتها . وهكذا

نجد بان قوى الفعل المتبادل التي ينجزها المجال المغنطيسي الكهربائي ، لا تعتمد فقط على المسافة بين الجسيمات وسرعاتها ، بل على التسارع ايضا ! ولكن في هذه الحالة ، لا تعتمد على التسارع الا قيمة المجال وحدها فقط . اما القوة المؤثرة في الشحنة من ناحية المجال الكهربائي للموجة المغنطيسية الكهربائية ، فانها كالسابق تعتمد فقط على شدة المجال ، اما المؤثرة من ناحية المجال المغنطيسي ، فانها بالاضافة الى ذلك تعتمد على سرعة حركة الشحنة ايضا .

وبزيادة تردد ذبذبة الشحنة ، يزداد مقدار تسارعها ، وبناء على ذلك تزداد شدة الموجات التي تشعها او تبعثها . وعند زيادة تردد الذبذبة الى الضعف فقط ، تزداد الطاقة الاشعاعية بمقدار ١٦ مرة ! ولهذا السبب تنشأ في هوائيات الاذاعات اللاسلكية ، ذبذبات يبلغ ترددها مئات الملايين من الذبذبات في الثانية الواحدة .

واهم حقيقة للفعل المتبادل بواسطة الموجات المغنطيسية الكهربائية ، تحدد قيمته برمتها ، هي بطء تناقص شدات المجالات في الموجة بزيادة المسافة عن المصدر . وكما يذكر القارىء ، تتناسب القوى الالكتروستاتية وقوى الفعل المتبادل للتيارات ، تناسبا عكسيا مع مربع المسافة ، وتعتبر هنا بمثابة قوى مؤثرة عن بعد ، اى قوى بعيدة المدى .

اما تناقص المجالات بمرور الزمن في الموجة المغنطيسية الكهربائية ، فيحدث بصورة تتناسب عكسيا مع المسافة نفسها ! وهذا تناقص بطيء الى اقصى درجة . ان كافة القوى الاخرى تقل بزيادة المسافة ، بصورة اسرع بكثير . وهنا كما تشير الحسابات ، تصبح المجالات قابلة للابتعاد عن المصدر الى مسافة بعيدة جدا ،



نتيجة للاضطراب المتعاقب للمجالات ببعضها البعض . وهذا هو السبب . الذى جعل مجالات حتى محطات الاذاعة اللاسلكية الضعيفة نسبيا، معرضة للاكتشاف على مسافات آلاف الكيلومترات ، بينما نجد ان المجالات الاستاتية لا تؤثر بتاتا على مثل هذه المسافات .

وهنا تقابلنا حقيقة طريفة . ان المجال الناجم عن الشحنة على مسافة قريبة منها ، هو فى الاساس مجال كولون (فى الحقيقة معدل قليلا من قبل حركة المصدر) مع اضافات قليلة نسبيا من المجالات المغنطيسية والكهربائية الدورانية . ولكن ما ان نذهب الى ابعد من ذلك ، حتى تظهر هذه الاضافات فى المقام الاول ، وتحجب مجالات كولون المتحللة بسرعة مع زيادة المسافة .

ويحدث شيء مماثل لذلك، مع الناس ايضا اذا اردنا . وهل كان من النادر ان نجد الناس المعاصرين الذين كانوا ينظرون من مسافة قصيرة ، لم يدركو ، باستثناء ، القليل منهم ، اهمية اولئك العلماء الذين اصبحت المقاييس الحقيقية لعظمتهم واضحة تماما ، بفضل المستقبل التاريخى المنظور ؟ ومن هؤلاء كيبلر ،

ريمبراندت ، لوباجيفسكى وغيرهم من المشاهير الذين لا يحصى عددهم .

ولكن لنرجع الآن الى الموجات المغنطيسية الكهربائية .

ولنفس السبب الذى تحدثنا عنه اعلاه ، فاننا نرى (ان الضوء ايضا هو عبارة عن موجة مغنطيسية كهربائية) مجموعات الكواكب البعيدة عنا بمسافات لا يمكن تصورها ، والتى لا يقطعها الضوء الا خلال مليارات السنين !

ولا يجوز ان نهمل هنا الاشارة الى ناحية اخرى لعملية الاشعاع . واذا كان الجسيم مشعا ، فان الموجات المغنطيسية الكهربائية المستنفدة ، تحمل معها طاقة . والجسيم المشع يفقد طاقة ، وبالتالى يجب ان يتعرض لفرملة معينة فى حركته . وهذا الجسيم يقع تحت تأثير قوة شبيهة بقوة الاحتكاك . ولكن ما هى هذه القوة ؟ ومن ناحية اى شىء تؤثر ؟

اننا نعرف جيدا ان الجسيم المشحون يتعرض لتأثير قوة معينة من ناحية المجالين الكهربائى والمغنطيسى . وقد قصدنا لحد الآن المجالات الخارجية فقط (اى المجالات المتولدة عن الاجسام المشحونة المحيطة بالجسيم الدقيق) . ولكن توجد هناك ايضا مجالات خاصة يولدها الجسيم نفسه بالذات . اذن الا تبدى هذه المجالات تأثيرا ما على المصدر الذى ولدها ؟ من ان نتصور عدم وجود اية قوى ذاتية التأثير ، عندما يكون المصدر ساكنا او مستقرا . لانه بعكس ذلك كان سيحدث شىء مستحيل تماما ، وهو ان التسارع الذاتى للجسيم ، سيكون مكتسبا من قبل الجسيم نفسه . والوضع سوف لا يتغير حتى فى حالة الحركة المنتظمة والمستقيمة للمصدر (الامر الذى يمكن التأكد منه بسهولة اذا

تذكرنا بان السكون او الاستقرار هو حالة خاصة من حالات الحركة المستقيمة المنتظمة) . وفي هذه الحالات البسيطة جدا ، ينطلق ذيل المجال بمعية الجسيم دون ان ينقطع او يتشوه . وتتغير الوضعية تماما ، اذا دفعنا المصدر دفعة شديدة على سبيل المثال . ولما كانت سرعة انتشار الاشارات المغنطيسية الكهربائية كبيرة الى ما لا نهاية ، فان المجال المتولد عن الجسيم برمته ، سينطلق فى أثر الجسيم الذى أنجز « الدفعة » وبالتالى فان قوة التأثير الذاتى ، كانت ستبقى كما كانت عليه ، قوة صفرية . ولكن هذا لا يحدث . ان الجسيم يستطيع ان يخرج من حالة التوازن في مجاله الخاص ، ونتيجة لذلك ، يجب ان تظهر قوة تحاول ان تعيده الى ذلك الوضع — قوة الفرملة . ويبدو كأن الجسيم قد ربط فى مجاله الخاص . وليس من العبث ان يقول الفيزيائيون بانه يظهر « احتكاك اشعاعى » . وليس من الخطأ القول بان الطاقة التى يفقدها الجسيم المشع ، تساوى شغل قوة الاحتكاك الاشعاعى ، اى القوة التى يؤثر بها المجال الذى كونه المصدر ، على ذلك المصدر بالذات .

ولكن هناك خاصية اخرى طريفة للتأثير الذاتى . لقد ذكرنا ان التأثير الذاتى للجسيم الساكن (او المتحرك بانتظام على خط مستقيم) يساوى صفرا . ولا ينتج عن ذلك بتاتا ، ان الطاقة ايضا تساوى صفرا . ولذيل المجال طاقة ، وله كتلة معينة ، لذا فهو يساهم فى طاقة الجسيم .

واذا فقد الالكترون لسبب من الاسباب المبهمة شحنته الخاصة ، لقلت كتلته فى نفس اللحظة . ولكن باية نسبة او حصة ؟ هذا ما لا نعرفه لحد الآن . وهذا ليس من المدهش . لاننا هنا نتطرق الى بعض نواحي الفعل المتبادل بين الجسيمات والمجالات التى

تولدها ، وهذه لا يمكن تناولها بالبحث الا بعد تعميق وتوسيع معلوماتنا بصورة اساسية ، حول ما يسمى فى اغلب الاحيان بتركيب او بنية الجسيمات الاولية الدقيقة . وهذا لا يزال يعتبر بعد ، من مجالات العلم فى المستقبل :

الفصل الرابع

تأثيرات القوى الكهربائية المغنطيسية

جل انت ... فى كل مكان
وسر انت ... فى كل مكان
وانت كل ما تبصره العينان
فى كل آن ... وكل اوان
جامى « كتاب الحكمة »



١ – كيف تظهر القوى الكهربائية المغنطيسية

من الكتاب الموضوع على المنضدة الى اشعاع التردد اللاسلكى للمجرات – سوف لا تدخل فى هذا الفصل اية قوى جديدة : سنتحدث فيه عن نفس الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة ، التى تحدثنا عنها فى الفصل السابق . ولكن كان الاهتمام هناك مركزا على المسائل المبدئية ، المتصلة بطبيعة القوى المغنطيسية الكهربائية بالذات . اما الآن فسنحاول ان نشرح كيف تساعد القوانين القليلة العدد ، التى هى فى الحقيقة « القوانين الاساسية لوجود » المجالات المغنطيسية الكهربائية ، فى البحث بطريقة موحدة ، عن حقيقة اوسع عدد من الظواهر ، ابتداء من ابسطها (مثل سبب عدم سقوط الكتاب من خلال المنضدة) وانتهاء بتلك الظواهر التى تسمى بحق تام عظيمة (مثل اشعاع التردد اللاسلكى للمجرات) . وهكذا سنواصل حديثنا عن القوى المغنطيسية الكهربائية . سنواصل الحديث لكننا فى نفس الوقت سنبدأ حديثا جديدا .

كيف تظهر القوى المغنطيسية الكهربائية – فى مسرحية مكسيم غوركى « البرابرة » يسأل السيد دروبيازجين شيخ المشعوذين الغجر : « هل يوجد ناس فضلاء مخفيون ؟ » فيجيبه الاخير قائلا : « انهم يجب ان يكونوا فى الخفاء دائما .. لاننى ما رايت فضلاء ظاهرين للعيان » . كان يمكننا ان نجيب بنفس مثل هذه الاجابة ولكن بصورة اكثر تأكيدا ، على السؤال التالى : « هل توجد فى الطبيعة مظاهر خفية للقوى المغنطيسية الكهربائية ؟ » .

يمكننا هنا بضمير هادىء ان نؤكد قائلين : اننا نتقابل دائما

تقريبا مع المظاهر الخفية لهذه القوى ، بالرغم من ان كلا منا في الحقيقة ، يمكن ان يقول بانه صادف المظاهر الواضحة لهذه القوى ايضا .

ان الشحنات الموجبة والسالبة ، وبصورة ادق ، الجسيمات السالبة والموجبة الشحنة ، ماعدا بعض الحالات النادرة ، تكون مرتبطة او مقيدة مع بعضها البعض ، مكونة اجساما متعادلة . وعادة يتم هذا الارتباط في اعماق المادة بالذات ــ في الذرات . وهنا فقط يعتبر الفعل المتبادل المباشر ، بمساعدة قوى كولون ، بمثابة العامل الحاسم . ولكن هذا الفعل المتبادل مخفي على عمق كبير جدا ، بحيث لا يمكن العثور عليه الا بواسطة الاجهزة الفيزيائية المعقدة . اما في الحالات الاخرى فتصادفنا على الاغلب الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية بين الانظمة المتعادلة للذرات والجزيئات) . ان هذا الفعل المتبادل للشحنات المقيدة ، لا تدخل عنده القوى المغنطيسية الكهربائية في صيغة بسيطة مثلما هي عليه في قوانين كولون وأمبير . لذلك ، سوف نسمي مثل هذه المظاهر للقوى المغنطيسية الكهربائية ، بالمظاهر الخفية . ان الجسيمات المشحونة الطليقة ، توجد باعداد تقل كثيرا عن الجسيمات المشحونة المقيدة* . والحالات التي يتم فيها الفعل المتبادل للاجسام المشحونة ، بصورة واضحة للعيان ، طبقا لقانون كولون ، وللتيارات طبقا لقانون أمبير ، هي حالات نادرة نسبيا . وليس من قبيل الصدفة ، ان الناس على مدى عصور كثيرة بعد نشوء الحضارة ، عاشوا في نطاق القوى المغنطيسية الكهربائية ،

* بالمناسبة ان المصطلحين طليقة ومقيدة الخاصين بالشحنات ، يعتبران من المصطلحات الرسمية تماما .

ولم يلدركوا ولو قليلا ، ان المرونة ، الاحتكاك وغيرهما ، هى عبارة عن مظاهر مختلفة لنفس القوى الواحدة من حيث الاساس .

عندما تصبح القوى المغنطيسية الكهربائية قصيرة المدى — ان القوى المغنطيسية الكهربائية الموجودة بين الشحنات المقيدة فى الانظمة المتعادلة ، هى عبارة عن قوى قصيرة المدى . وهى تقل بزيادة المسافة ، بسرعة اكبر بما لا يقارن ، من سرعة قوى كولون او نيوتن . ولهذا السبب ، لا تصبح هذه القوى ملموسة ، الا على مسافات قصيرة جدا ، فى التلامس المباشر بين الاجسام . وهنا تبدو مقنعة تلك الحقيقة التى تفيد بان الفعل المتبادل بين الاجسام ، يحدث دائما فى الواقع ، على بعد مسافة معينة بمساعدة المجال المغنطيسى الكهربائى ، وليس هناك اى تلامس او اتصال مباشر بتاتا .

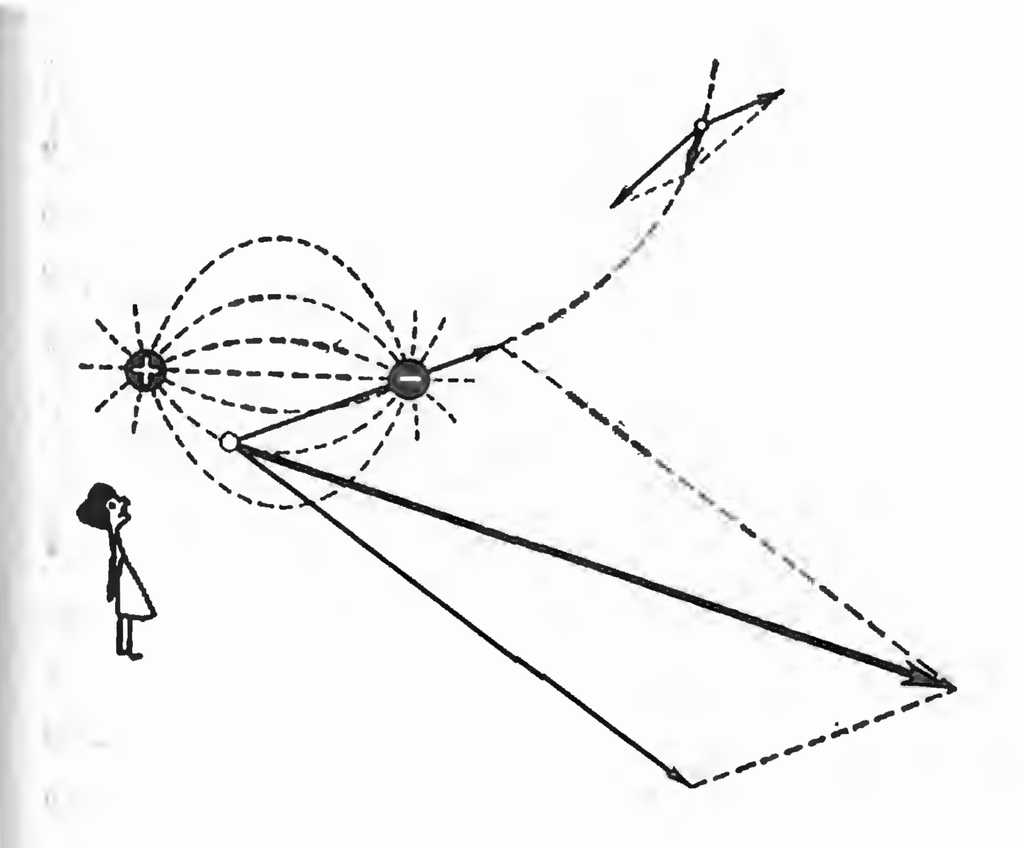
ان الافعال المتبادلة الظاهرة ، المكتشفة قديما ، والمنظورة فى حالات خاصة فقط ، اصبحت من العجائب غير المرتبطة ارتباطا وثيقا بالظواهر العادية . وهذه القوى اثرت بوضوح تام ، بدون اى تلامس او اتصال عبر الفراغ . ان الجسيمات المتعاكسة الشحنة تكوّن من نفسها حالات مقيدة ، متوقفة بذلك عن ابداء اى تأثير ملحوظ حتى على جيرانها القريبين . ويكون جيرانها القريبون جدا ، موضع اهتمامها فقط . وفى نفس الوقت ، نجد ان الشحنات فى مثل هذه الظروف ، تفقد قابلية الانتقال فى المجال المغنطيسى الكهربائى ، ودون الاعتماد على بعضها البعض لا يمكنها تكوين تيار توصيل كهربائى .

وقد توصل القضاة فى العصور القديمة الى نتيجة مماثلة ، بتقييد المجرمين بالسلاسل على هيئة ازواج . وبعد ذلك اصبحوا



غير خطرين على المجتمع ، ولم يتمكنوا من الهرب . وفى الذرة ، نجد ان المجال الكهربائى يمثل مثل هذه السلسلة التى تقيد الالكترونات الى النواة .

ان مقارنتنا هذه ، لا توضح بطبيعة الحال ، سبب عدم ظهور الاجسام المتعادلة فى الحالة العادية للافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية ، على اية مسافة ملموسة. ان الامر هنا غير معقد بطبيعته . اليكم مثلا ابسط الانظمة المتعادلة، وهو الجزىء الكهربائى ذو القطبين، الذى هو عبارة عن شحنتين متماثلتين متعاكستى العلامتين ، تقعان على مسافة قريبة من بعضهما البعض . وفى النقطة التى تبعد عن الجزىء ذى القطبين بمسافة اكبر بكثير من طول الجزىء المذكور ، تكون المجالات ذات الشحنات الموجبة والسالبة ، متماثلة تقريبا ، ومتجهة فى اتجاهات متعاكسة تقريبا . لذلك يكون المجال الكامل ، قليلا للغاية (اى مجموع مجالين) . وفى الجزىء ذى القطبين ، يكون المجال الكهربائى متناقصا بصورة تتناسب عكسيا مع مكعب المسافة ، وبصورة اسرع من ذلك فى الانظمة او المجموعات الاكثر تعقيدا .



وبعبارة اخرى ، يتركز المجال الكهربائى برمته تقريبا ، بين الشحنات : تكون خطوط القوى ممدودة من شحنة الى اخرى ، وكأنها تشدها معا . وعلى مسافة كبيرة من الجزىء ذى القطبين ، لا يوجد مجال كهربائى تقريبا * . لان المجال برمته يصبح مركزا داخل الجسم المتعادل وعلى اطرافه بالذات .

ليس حسنا دائما ان نبدأ من البسيط – فى حديثنا عن تأثير القوى المغنطيسية الكهربائية فى الطبيعة ، سوف نتعامل دائما تقريبا مع ظواهرها الخفية . ان بعض الحالات ، مثل الصاعقة او الرعّاد الكهربائى او اضواء القديس ايلم وغيرها – هى عبارة عن

* هذا ينطبق على الجزىء الاستاتى ذى القطبين ، التى لاتتحرك شحناته بالنسبة لبعضها البعض . وعند التذبذب السريع للشحنات ، سيقوم الجزىء ذو القطبين باشعاع موجات مغنطيسية كهربائية .

ظواهر طريفة ، ومخيفة فى اغلب الاحيان ، ولكنها جميعا لا تقارن البتة من حيث اهميتها مع بعض الظواهر المعروفة مثل المرونة ، الاحتكاك وغير ذلك .

وقد كان فى استطاعتنا ان نبدأ الحديث بالحالات التى نتقابل فيها مع الشحنة الكهربائية الطليقة ، المستقرة فى الاجسام او المتنقلة فيما بينها . ولكن الكهرباء الطليقة تنشأ من الكهرباء المقيدة ولا تبقى فى الطبيعة مدة طويلة على هذه الحالة ، اذا لم نتطرق الى حالة المادة عند درجات الحرارة العالية جدا * . ولذلك لكى نشرح نشوء ظاهرة مثل الصاعقة ، يجب ان ننطلق من الشحنات المقيدة فى الاجسام المتعادلة . ومع ذلك يجب ان نبدأ من هذا ، بالرغم من ان المظاهر الخفية للقوى المغنطيسية الكهربائية ، اكثر تعقيدا من المظاهر الخفية . والا ستتوصل فقط الى فهم كيفية حدوث بعض العمليات المغنطيسية الكهربائية البسيطة المنفردة ، ولكننا سوف لا نعرف كيف ولماذا تنشأ ، ولماذا لا تستمر الى ما لا نهاية .

وقد لا يجدر بنا ان نتحدث عن كل ذلك بصورة مفصلة جدا كما فعلنا ، لولا شيء واحد فقط . وفى علم الهندسة الكهربائية ، حيث يستنفد الانسان المعاصر بصورة اساسية تصوراته او معلوماته حول القوى المغنطيسية الكهربائية ، تستخدم افضلية الشحنات الطليقة ، الشحنات المتحركة ــ التيار الكهربائى . ولم يفلح الانسان فى تطويع القوى الكهربائية لحد الآن ، بالرغم من كونها اقوى من

---

* عند درجات الحرارة العالية جدا ، تتحول المادة الى حالة البلازما ، التي يسميها العلماء بكل حق ، الحالة الرابعة للمادة ، الى جانب الحالة الصلبة والسائلة والغازية .

القوى المغنطيسية بما لا يقارن . ولهذا السبب ، تظهر غالبا بصورة عفوية ، تصورات باطلة حول اهمية مختلف انواع القوى فى العالم المحيط بنا . ان الطبيعة مقتصدة فى استخدام القوى المغنطيسية الكهربائية الى حد اكبر بكثير ، لانها فى كافة الحالات تقريبا « اعطت الافضلية » للقوى الكهربائية (قوى كولون) باعتبارها الاكثر قوة ، مختصرة دور القوى المغنطيسية على الارض الى الحد الادنى . وقد تبين ان الطبيعة ، كما يمكن القول ، هى « مهندس » اكثر حذاقة من البشر . وسوف نحاول ان نتحدث هنا ، عن كيفية قيام الطبيعة بهذا العمل . وسوف لا نتطرق الى التطبيقات التكنيكية لقوانين المغنطيسية الكهربائية ، لان مهمتنا تتلخص فى الدرجة الاولى فى الحديث عن القوى فى الطبيعة .

٢ ــ القوى ، بنية المواد ، معادلة الحركة

ما الذى يجب ان نعرفه لكى نفسر المرونة ــ نعود الآن للحديث عن المنضدة التى ذكرناها فى الصفحة ٢١٨. كيف اذن نفسر سبب ظهور قوة تحاول ان تعيد المنضدة الى حالتها الابتدائية عند الانحناء ؟ لقد ذكرنا سابقا ، ان هذه القوة تتميز بطبيعة مغنطيسية كهربائية . ونحن نعرف الآن القوانين الاساسية للمغنطيسية الكهربائية ، وقد يبدو باننا الآن مستعدون لاعطاء تفسير فى الحال ، لاصل او منشأ قوة المرونة هذه .

ولكن لنحاول ان نفعل ذلك ! بالطبع لن نستطيع الاتيان باية نظرية معقولة لقوى المرونة . ليس لاننا لا نملك اية تجربة ، ولا نعرف كيف نبدأ هذا العمل فحسب ، بل لان معرفة طبيعة



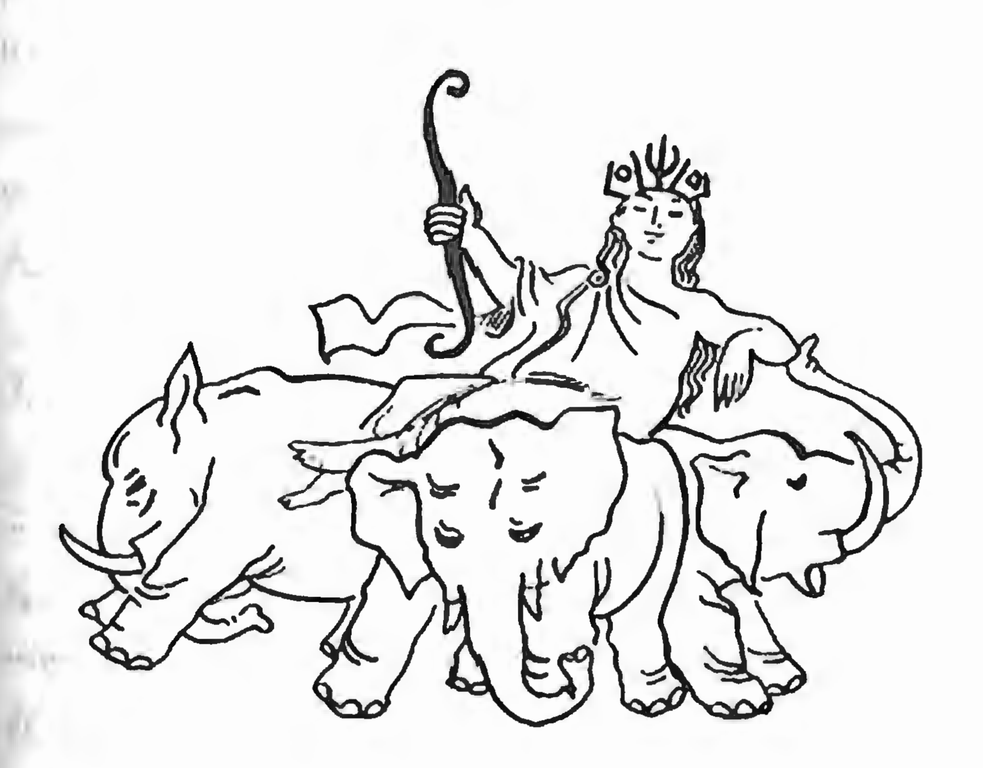
القوى المغنطيسية الكهربائية وحدها ،، لا تكفى بعد لهذا الغرض . وقد جاءت العبارات التالية على لسان السيد شارلوك هولمز : « ان وضع نظرية ما دون توفر المعلومات الاساسية يعتبر امرا خطرا . اذ ان الانسان دون ان يشعر ، يبدأ بتزوير الوقائع لكى يستخدمها بصورة تتلاءم مع نظريته ، بدلا من ان يدعم نظريته بالوقائع » . وهذا القول يصح بنفس القدر فى حالة الكشف عن جريمة معينة وفى حالة استقصاء الطبيعة على حد سواء .

ما الذى يجب ان نعرفه ايضا ، لكى نتصور بوضوح تام ، كيفية نشوء القوى المرنة ؟

ان قوانين الافعال المغنطيسية الكهربائية المتبادلة ، تسمح لنا بمعرفة تلك القوى التى تنشأ بين الجسيمات المشحونة ، الواقعة على مسافة معينة من بعضها البعض ، اذا كانت تتحرك بسرعات معلومة . ولايجاد قيمة هذه القوى ، يجب بالتالى ان نعرف ايضا بالاضافة الى القوانين الاساسية للافعال المتبادلة ، خواص الجسيمات

الدقيقة التي تتألف منها المادة ، وكيفية ترتيبها بالنسبة لبعضها البعض ، وكيفية تحركها . وبدون ذلك لا يمكننا تفسير اصول قوى مرونتها ، ولا قوى الاحتكاك ولا اية قوى اخرى للطبيعة المغنطيسية الكهربائية ، ولا يمكننا ان نفهم ايضا ، السبب الذى يجعل الاجسام الصلبة تحاول الحفاظ على شكلها الخارجى ، ويجعل السوائل تحافظ على حجمها .

الفيلة الثلاثة التي تستند عليها الفيزياء — ليس في هذه المسألة اى شيء غير متوقع . ان خواص مرونة المطاط مثلا ، لاتشبه خواص مرونة العصا الخشبية الا قليلا جدا ، بالرغم من ان طبيعة المرونة في كلتا الحالتين ، هى طبيعة مغنطيسية كهربائية . وبواسطة الفرق الموجود في تركيب او بنية المادة فقط ، يمكننا تفسير هذه الحقيقة وغيرها من الحقائق المماثلة . وقد تحدثنا قليلا في السابق ،



عن تركيب المادة ، عندما دار الحديث عن المظاهر الواضحة والخفية للقوى المغنطيسية الكهربائية . وسوف نتحدث اكثر من ذلك بكثير فيما بعد .

لنفرض باننا نعرف تركيب المادة . ولكن هل يكفى ذلك لتفسير قوى المرونة وغيرها من القوى المغنطيسية الكهربائية الاصل ، وهل يساعدنا ذلك على فهم استقرار قطع المادة ؟

وفى حالة الانضغاط او الشد ، تتغير ابعاد الاجسام ، وبالتالى تتغير المسافات الموجودة بين الجسيمات المشحونة المؤلفة للمادة . ويحدث تغير فى حالة حركة الجسيمات ، وتتغير سرعاتها وتتزحزح من اماكنها . ولمعرفة كيفية انزياح او تحرك الجسيمات بتأثير قوة معينة ، وهذا ضرورى فى نظرية المرونة ، يجب ايضا ان نعرف قوانين الحركة : يجب معرفة كيفية تغير الحركة بتأثير القوة . ولتفسير استقرار قطع المادة من الضرورى ايضا معرفة معادلات الحركة ، لان المادة مبنية من جسيمات متحركة متبادلة الفعل ، ونتيجة لهذه الحركة فقط ، يمكن تحقيق استقرار كل من الذرة والاجسام الماكروسكوبية المؤلفة من عدد هائل من الذرات .

لقد تعرفنا سابقا على المعادلات التقليدية للحركة . وهذه هى قوانين نيوتن ، التى تحدثنا عنها اعلاه . ان معادلات الحركة بالذات مع قانون الجاذبية العامة ، ساعدت على تفسير حركة الكواكب التابعة للمنظومة الشمسية ، وتساعد فى الوقت الحاضر على حساب وتحديد مسارات سفن الفضاء بدقة عالية للغاية . ان معرفة قوى الجاذبية وحدها ، لا تكفى تماما لهذا الغرض .

وهكذا يجب ان نعرف الى جانب القوانين الاساسية للافعال المتبادلة ، تركيب المادة ومعادلات الحركة .

ان كلا من تركيب المادة ، قوى ومعادلات الحركة ، هى الفيلة الثلاثة التى تستند عليها الفيزياء برمتها .

تركيب المادة — لقد شرحنا سابقا معنى قوى ومعادلات الحركة . اما فيما يتعلق بالتصورات الخاصة بتركيب المادة ، فانها بالدرجة الاولى تشمل معرفة خواص الجسيمات الاولية الدقيقة . والمعلومات المتعلقة بالمجموعات المؤتلفة الاساسية المستقرة ، التى تؤلفها هذه الجسيمات (النويات الذرية والذرات) يمكن ان تنسب ايضا الى تركيب المادة . ومعرفة تركيب المادة تشمل اخيرا ، معرفة التشكيلات المنتظمة المؤلفة من الذرات — الجزيئات والبلورات . اننا نحتاج الى الشيء الاخير بالذات ، لتفسير وشرح قوى المرونة .

« شمول ما لا يشمل » — لعل القارىء قد لاحظ الموقف الصعب الذى اصبحنا عليه الآن : لقد اردنا التحدث عن القوى فقط ، ولكن اتضح بانه من الضرورى التحدث ايضا عن تركيب المادة وعن معادلات الحركة . ذلك لان كل ذلك يدخل فى علم الفيزياء !

ان الصعوبة لم تظهر للعيان عندما تحدثنا عن تأثيرات قوى الجاذبية . وهذه القوى كبيرة فقط بالنسبة للاجسام الضخمة ، التى لا يؤثر تركيبها الداخلى بتاتا على قيمة القوة (المهم هو كتلتها فقط) . وقوانين الحركة بسيطة ومنظورة — معادلات نيوتن . اما بالنسبة للقوى المغنطيسية الكهربائية فى داخل الاجسام المتعادلة ، فان الامر اعقد من ذلك بكثير . اذ يتطلب هنا وجود معلومات عن خواص الجسيمات الاولية ، وعن تركيب الذرات والجزيئات والبلورات . اما الامر الاساسى فيتلخص فى ان حركة الجسيمات الذرية ، التى يعتمد على الفعل المتبادل بينها فى نهاية الامر كل من استقرار

المادة وخواصها المرنة ، تخضع لقوانين الحركة التى تعتبر اعقد الى درجة لا تقاس ، من القوانين التقليدية للحركة . وتتمثل هذه فى قوانين ميكانيكا الكم ، التى يحتاج شرحها الى كتاب مستقل بحد ذاته .

اننا سوف نتمسك بهدفنا تمسكا تاما ـ القوى فى الطبيعة ، ولذلك سنحاول الاكتفاء باقل معلومات ممكنة من حقول او فروع الفيزياء الاخرى ، التى لا يمكن الاستغناء عنها بتاتا . وفى الصورة التى سنرسمها فى ذهننا ، سيظهر فقط المخطط البسيط لسلوك الجسيمات ، الذى لا يمكن فهمه على حقيقته الا عند التعرف العميق نوعا ما على ميكانيكا الكم . وبخلاف ذلك ، يمكن ان نجد انفسنا بسهولة فى موقف ذلك الانسان الذى قرر ان يسلّى المستمعين بان يقص عليهم مشهدا من حياته ، ولكنه بدلا من ذلك ، بدأ يشرح لهم تاريخ حياته برمته ، خشية ان لا يفهمه احد كما يجب .

وحدة الطبيعة ـ يجب ان نقول بان الفيلة التى تستند عليها الفيزياء برمتها ، لا تعتبر مطلقا بمثابة حقائق قائمة بذاتها . ان خواص احدها تحدد مسبقا بهذا القدر او ذاك ، طبيعة البقية . وفى نظرية الجسيمات الاولية فقط ، لا نجد لحد الآن بعد ، اى رباط او علاقة عضوية بين خواص هذه الجسيمات ، القوى ومعادلات الحركة . ولم يتضح بعد ، لماذا توجد فى العالم كمية معينة من الجسيمات الاولية ، ولماذا تتميز بالذات بتلك الخواص التى تكشفها التجربة . ان مسألة تركيب او بنية الجسيمات الاولية من هذه الناحية لم تحل بعد . ولكن يوجد الآن امل معين فى حل هذه المسألة ، ولو لحد ما فى المستقبل القريب . ان العلاقات

او الروابط التى نتحدث عنها ، قد بدأت فى تحديد ملامحها ، واخذت الثقة تزداد قوة بان عدم كفاية « نظرنا العلمى » فقط ، هو الذى يخلق وهم الاقطاب المستقلة الثلاثة . وعلى الاغلب ، يجب ان يستقر مبنى العلم على سلحفاة واحدة فقط كما يقال . اما الشىء الذى اعتبرناه « فيلة مستقلة » ما هو فى الواقع الا قطعة من صدفة هذه السلحفاة غير المنظورة لحد الآن .

ان تركيب الذرات والجزيئات والقطع الماكروسكوبية للمادة ، تحدد تماما بواسطة قوى الفعل المتبادل بين الجسيمات المعروفة لدينا ، المكونة لهذه الاشياء وبواسطة قوانين حركتها . ولكن يجب طبعا ان نعرف كذلك نوعية الجسيمات المؤلفة للذرة والمادة ، وهنا لا يمكن الحصول على المعلومات اللازمة الا بواسطة التجربة . وبعد ذلك يمكن الحصول على تركيب الذرة والجزىء وغيرهما ، من حيث المبدأ ، بشرح نتائج التجربة . وفى الحقيقة ، يحدث ذلك فى كثير من الحالات ، بصورة مبدئية فقط . ان الصعوبات الناجمة هنا تعتبر هائلة للغاية ، خاصة عندما يتألف النظام او المجموعة من عدد كبير من الجسيمات ، مما يؤدى الى الحصول على المعلومات الاساسية بواسطة التجربة .

وكقاعدة عامة ، يتعمق الباحثون فى سر تركيب المواد بواسطة التجارب المباشرة ، قبل ان تتوفر لديهم امكانية بحثه استنادا الى القوانين الاساسية للافعال المتبادلة ومعادلات الحركة فقط .

وهذه القوانين والمعادلات يمكن التوصل الى صياغتها فى معظم الحالات ، عندما تطرح للبحث مسألة تفسير الحقائق المعروفة لتركيب المادة . ونعرف الآن على سبيل المثال ، من اى شىء تتألف النوياة الذرية لكافة العناصر ، ولكننا لا نملك نظرية

كاملة للقوى النووية ، لذلك لا يمكننا التنبؤ نظريا بصورة تامة التحديد ، مدى استقرار هذه المجموعة المؤتلفة او تلك ، من البروتونات والنيوترونات .

ابسط طريق – من المفهوم تماما انه من الاسهل للغاية ، ان نفسر الحقائق المثبتة بالتجربة لتركيب المادة ، بالقوى والقوانين المعروفة للحركة ، من ان نحاول باستخدام هذه القوانين ، معرفة كيف يجب ان يكون عليه تركيب المادة . وكذلك من الاسهل بكثير ، البحث فى تصميم سيارة جاهزة الصنع ، وفهم كيفية وشبب اشتغالها ، من تصميم السيارة بالذات ، مع توفر مجموعة منوعة من المواد وعلم الهندسة . وليس من العبث وجود قوانين براءات الاختراع التى تحفظ حقوق المخترعين . وفى الحقيقة يوجد هنا اختلاف جوهرى . ان المجموعة المنوعة من المواد المتوفرة لدى المصمم ، تكون فى غاية التنوع وعدم التجانس . وكذلك قد تتنوع الشروط التكنيكية المطلوب توفرها فى السيارات . ولكن الامر فى الطبيعة يختلف عن ذلك . ان الذرات والجزيئات ، تصميم من مجموعة منوعة قياسية تماما من « قطع الغيار » ، حيث تتألف النواة من البروتونات والنيوترونات ، ويتألف الغلاف من الالكترونات . وبالاضافة الى ذلك نجد ان قوانين الطبيعة (قوانين ميكانيكا الكم) تحدد بنفس الدرجة تماما « محصول المنتوجات الجاهزة » – المجموعة المؤتلفة للذرات والجزيئات غير المعقدة جدا ، المتوقعة فى الطبيعة . ونحن لا نملك امكانية تنويع خواص الذرات ، كما يحدث بالنسبة لموديلات السيارات . بل يمكننا فقط ، الحصول على جزيئات ومواد معقدة ذات خواص معينة (مثل

البوليمرات) ، بتجميع المواد الاساسية وتطوير تكنولوجية معاملتها او تصنيعها .

وسوف نتقدم الى ابعد من ذلك ، بابسط طريق ممكن . وهنا سوف نعتبر بان المعلومات الاساسية المتعلقة بتركيب الذرات والجزيئات والاجسام الماكروسكوبية ، قد حددت بالتجربة دون ان نذكر كلمة واحدة عن كيفية القيام بذلك . والهدف الرئيسى هنا ، هو الحديث عن كيفية تفسير هذا التركيب ، بواسطة تأثير القوى المغنطيسية الكهربائية . وبعد ذلك يمكن ان ننتقل الى ما يحدث للمادة عند تعرضها للمؤثرات الخارجية . ما هى القوى التى تظهر فيها وما سبب ذلك ؟

٣ ـ القوى المغنطيسية الكهربالية فى الاجسام المتعادلة كهربائيا

الذرة ـ لو تمكنت نواة الذرة من الكلام لقالت بكل حق : « اعطونى احتياطيا معينا من الالكترونات ، لأبنى لكم الذرة حالا بمساعدة قوى كولولن » . ذلك لان هذه القوى بالذات ، تحصر الالكترونات عند النواة الموجبة الشحنة . ولو جردنا او عرينا النواة ، بقطع الالكترونات التى تغطيها ، فسوف نجد ان المجال الكهربائى للنواة ، يبدأ فى الحال بالاستحواذ على الالكترونات الطليقة المتطايرة بالقرب منه ، ويستمر فى الاستحواذ عليها الى ان يصبح عدد الالكترونات مساويا لشحنة النواة . وما ان يصبح نظام الالكترون ـ النواة متعادلا ، ينتهى تكوين الذرة فى الحال .

ان الذرة صغيرة الحجم وفارغة جدا من الداخل ، اذا لم نأخذ في الاعتبار المجال الكهربائي الذي يملؤها . وهي اكثر فراغا جدا من منظومتنا الشمسية ، التي يزيد حجمها بمئات المرات عن حجم الشمس بالذات ، وبعشرات الالوف من المرات عن حجم الكواكب . ولو نمت الذرة فجأة ووصل حجمها الى حد مدار الارض ، لاصبحت النواة اقل حجما من الشمس بالف مرة فقط . ولكن لو قل حجم الشمس بالف مرة ، لرأينا في السماء نقطة مضيئة بدلا من القرص المتوهج . وغالبا ما نسمع هذا الحديث الآن ايضا ، اما في الماضي فقد اعتقدوا عن يقين بان الالكترونات تدور حول النواة على مدارات معينة تشبه مدارات كواكب المنظومة الشمسية . ذلك لأن القوى الالكتروستاتية ، تشبه تماما من حيث طبيعتها ، قوى الجاذبية العامة . والفرق الوحيد يتمثل فقط في ان قوة الفعل المتبادل «لكواكب» النظام الذرى (الالكترونات) مع بعضها البعض ليست كبيرة الاختلاف عن قوة فعلها المتبادل مع النواة ، في الوقت الذي نجد فيه ان الجاذبية نحو الشمس فقط ، هي القوة العظيمة الوحيدة في المنظومة الشمسية . والفعل المتبادل بين الكواكب ، يتعرض لتعديلات طفيفة . ان شحنة اثقل نواة ، لا تزيد على شحنة الالكترون باكثر من ١٠٠ مرة . اما كتلة الشمس فهي اكبر من كتلة الكواكب بمليون مرة . واخيرا فان الالكترونات تتنافر مع بعضها البعض اما الكواكب فتتجاذب .

ولكن لا يكمن في هذا سبب الاختلاف الهائل بين تركيب الذرة وتركيب المنظومة الشمسية . ولم يكتشف الى النهاية بعد ، سر نشوء المنظومة الشمسية ، الذي ينطوي على اسباب محدودية حجوم او ابعاد مدارات كواكب المنظومة الشمسية . ويمكننا ان نفترض

بسهولة ، انها ربما كان من المحتمل ان تكون على غير صورتها الحالية . ماذا يمكن ان نقوله خاصة وان الناس الآن يخلقون بانفسهم كواكب صغيرة ، بحيث يمكن اختيار مداراتها حسب الطلب بتزويد الصاروخ بسرعة معينة ضرورية لذلك . وهذا الشيء يختلف تماما عما هو عليه في الذرة . ان خواص الذرة وبالتالى تركيبها او بنيتها ، لا تعتمد مطلقا على اصلها . ان كافة الذرات التابعة لعنصر كيميائى معين ، متطابقة الخواص بغض النظر عن كونها وجدت منذ عصور سحيقة فى القدم او انها خلقت امام اعيننا تماما ، بواسطة الاستحواذ على الالكترونات من قبل النواة التى تكونت للتو . ومن المستحيل ان نجعل الالكترون يتحرك فى داخل الذرة بالطريقة التى نريدها نحن .

ان الامر كله يتلخص فى ان النواة تبنى الذرة بواسطة مجالها الكهربائى وليس طبقا لقوانين ميكانيكا نيوتن ، او طبقا لقوانين ماكسويل الديناميكية الكهربائية . ولا يمكن مطلقا على وجه العموم ، بناء ذرة تقوم على اساس هذه القوانين .

وبالطبع لا تستطيع الالكترونات فى الذرة ان تتحرك على خط مستقيم . انها تتحرك بتسارع معين ، وبالتالى يجب ان تشع موجات مغنطيسية كهربائية . ويرافق الاشعاع بفقد طاقة ، لذا لا بد ان تسقط الالكترونات على النواة ، مثلما يفقد القمر الصناعى فى طبقات الجو العليا ، طاقة معينة نتيجة لمقاومة الهواء ، ويسقط على الارض عاجلا ام اجلا . ويتلخص الفرق هنا ، فى ان القمر الصناعى يمكن ان يدور لعدة سنوات ، اما الالكترون ، حسب النظرية التقليدية ، فلا يدور لاكثر من جزء من مائة مليون جزء من الثانية . وكان الوميض الخاطف للضوء ، سيدلفى هذه الحالة

على فناء الذرة . وكان على المجال المغنطيسى الكهربائى للفيزياء التقليدية ، ان يفنى الذرة بالرغم من انه يخلقها بالذات . اما فى الواقع فلا يحدث شىء من هذا القبيل .

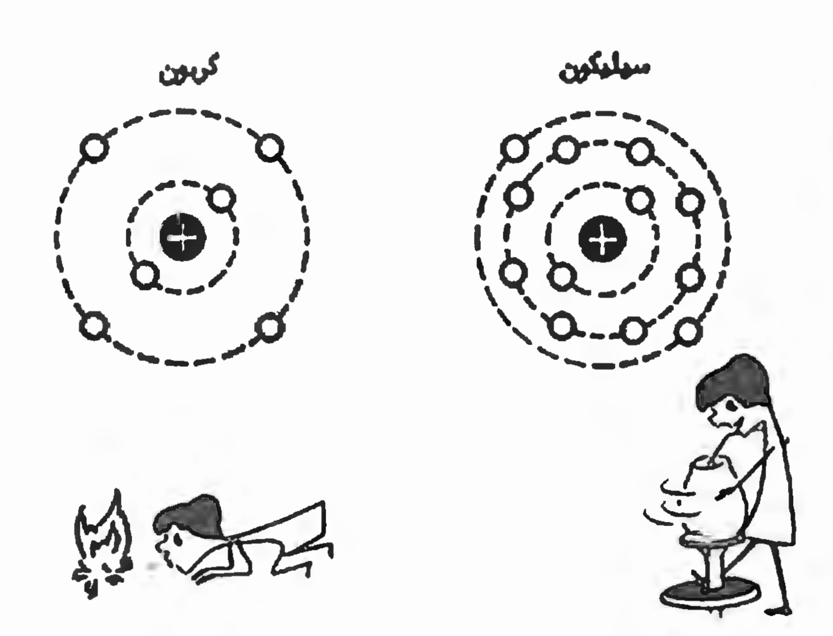
ولو عاملنا الذرة معاملة ليست خشنة جدا ، فانها يمكن ان تبقى لمدة طويلة لاتنتهى . وقد تصرفت الطبيعة تصرفا حكيما جدا ، يجعل حركة الجسيمات الميكروسكوبية الدقيقة تخضع لقوانين الكم . وبتطبيق قواعد او قوانين الكم فى تصرفها ، تتجنب الذرة الفناء ، مثلما يتجنب سواق السيارات الحوادث المؤسفة على الطرق باتباعهم لقواعد وانظمة المرور . ولكن قواعد الكم للحركة فى داخل الذرة وحدها — هى القانون الطبيعى ، الذى لا يستطيع الالكترون او اى شىء آخر فى العالم ان يخالفه . ويتلخص جوهر هذه القوانين او القواعد ، فى ان طاقة الالكترون فى الذرة ، يمكن ان تمتلك عددا محدودا من القيم المتقطعة ، ولا يمكن ان تتغير تدريجيا ، ولا يستطيع الالكترون ان يشع بصورة متواصلة . وتوجد دائما قيمة صغرى للطاقة ، لا يمكن ان تفقدها الذرة فى اى حال من الاحوال ، اذا تمكنت فقط من الحفاظ على غلافها الالكترونى ، وسوف يأتى الحديث عن الاشعاع فى البداية ولاجل ان نفهم الحديث فيما بعد ، من المهم ان لا توجد هناك اية علاقة مشتركة بين حركة الالكترون فى الذرة وحركة الكواكب على مداراتها . ولو استطعنا تصوير ذرة الهيدروجين فى اضعف حالة من الطاقة (ابسط تركيب) ، بمدة تعريض كبيرة ، لرأينا سحابة ذات كثافة قصوى على بعد مسافة معينة من النواة . ويمكن اعتبار هذه المسافة بمثابة شبيه تقريبى لنصف قطر المدار . ان الصورة الفتوغرافية للذرة ، لا تشبه بتاتا الرسم العادى للمنظومة الشمسية ،

بل تشبه على الاغلب ، البقعة المنتشرة ، الناجمة عند تصوير فراشة الليل التي تحوم بصورة عشوائية حول المصباح *. ويجب علينا ان نتذكر بحزم الاشياء التالية حول تركيب الذرات المعقدة . ان الالكترونات تترتب في الذرات على هيئة طبقات او اغلفة كما يقال . وعدد الاماكن الشاغرة في كل طبقة ، محدد بصورة دقيقة للغاية . وفي الغلاف الداخلي القريب جدا من النواة ، قد يبلغ عددها ٢ فقط ، اما في الاغلفة الباقية فقد يكون ٨ وهلم جرا . وكلما ابتعدنا عن النواة ، كلما زاد عدد الالكترونات ، ولكنه يبقى دائما محدودا . وليست القوى الكهربائية هي التي تملي شروطها هنا ، بل القوانين الميكانيكية الكلية الصارمة . وهذا هو عبارة عن شرط قانون باولي ، الذي تتلخص حقيقته في انه لا يجوز للالكترونات المتشابهة الخواص ان تتشابه ايضا من حيث حالتها « اذ يجب ان تختلف عن بعضها البعض ولو بأي شيء كان » ! وهذا هو امر الطبيعة .

ان زيادة عدد الالكترونات في الذرة وتكوين طبقات جديدة مملوءة بالالكترونات ، لا يقترن بتوسع الذرة او تمددها . وتوسع الشحنة الموجبة لنواة الذره ، يؤدي الى انضغاط الاغلفة الداخلية . وبهذا الشكل تصبح حجوم كافة الذرات ، المحددة بانصاف اقطار الطبقات الخارجية ، متساوية تقريبا ، اما الالكترونات الداخلية فتلتصق بالنواة اكثر فاكثر ، كلما اتسعت شحنتها .

---

* يجب هنا ان نعير اهتمامنا الى تشابه الصورتين في المعدل فقط خلال مدة التعريض لوحدها . ولا يمكن بتاتا تشبيه حركة الالكترون بخفقان اجنحة الفراشة ، كما لا يمكن أيضا تشبيهها بحركة اي جسم ماكروسكوبي (مرئي) آخر .



ان هذه القوانين تظهر فى بناء او تركيب الذرات بصورة كاملة تماما ، عندما تتقابل الذرات مع بعضها البعض . وعند التقابل ، تتلامس باغلفتها الخارجية ، وكل ما يحدث فى اعماق الذرة ، لا يعتبر جوهريا بهذا القدر الكبير والامر الاساسى هو معرفة عدد الالكترونات الموجودة على اطراف الذرة . وعددها برمته يحدد عمليا تلك « النوايا » التى تكشف عن الذرات عند التقارب : هل يجب عليها ان تتصل مع بعضها البعض ام تفترق عائدة الى اماكنها . ويمكن التأكيد بكل ثقة، على ان الذرات تقابل بعضها البعض بغلافها الخارجي بالرغم من كون « الغلاف الخارجي » بالذات يتحدد بقلب الذرة ــ النواة .

ان عدد الالكترونات الخارجية يتغير دوريا بقدر زيادة شحنة النواة . وبعد نشوء غلاف واحد يبدأ انشاء غلاف جديد ، بعيد عن النواة اكثر من الاول . وهنا يكمن مفتاح لغز الفكرة الفيزيائية للجدول الدورى للعناصر الذى وضعه العالم مندلييف . ذلك لان الخواص الكيميائية للذرة تحدد بعدد الالكترونات الخارجية ، الاكثر

ارتباطا مع النواة . ومن السهل ان نفهم بانه كلما قل عدد الالكترونات الموجودة فى الغلاف الخارجى ، كلما ضعف ارتباطها مع النواة . ويمكن على وجه التقريب ان نعتبر الالكترونات الداخلية مع النواة ، بمثابة ايون موجب . واذا احتوى الغلاف الخارجى على الكترون واحد فقط (مثل المعادن العادية : الليتيوم ، الصوديوم وغير ذلك) فانه يجذب بواسطة شحنة الايون ، المساوية لوحدة واحدة فى النظام الذرى للوحدات .

وعند وجود الكترونين فى الطبقة الخارجية (مثل الباريليوم ، الكالسيوم وغيرهما) ينجذب كل منهما نحو المركز بقوة اكبر بمرتين ، لان الشحنة الكهربائية للقسم الباقى من الذرة ، تساوى اثنين وهلم جرا . وبزيادة عدد الالكترونات الخارجية تزداد شحنة الايون الموجب ، وتزداد قوة جذب الالكترونات ، ويقل نصف قطر المدار ، وتزداد مقاومة الرباط . ويكون الرباط اقوى ما هو عليه عندما يكون الغلاف الخارجى مملوءا برمته . وهذا ما يحدث فى الغازات الخاملة : الهليوم ، النيون ، الارجون وغيرها . ان عدد الالكترون فى الغلاف الخارجى لغاز الهليوم يساوى ٢ ويساوى ٨ فى بقية الغازات الاخرى كافة .

نواة الذرة — ان القوى الكهربائية فى الذرة هى القوى الرئيسية . وهى تلعب دورا بارزا فى داخل النواة ، ولكن ليس دورا اساسيا . وبروتونات النواة الموجبة الشحنة تقع على مسافة قريبة للغاية من بعضها البعض ، لذلك لا يمكنها التخلص من الفعل المتبادل فيما بينها . وهى تتنافر مع بعضها البعض بقوة هائلة ، ولو لا وجود قوى نووية اكبر من ذلك ، لما وجدت النواة . ولتطايرت البروتونات فى هذه الحالة بسرعات قريبة من سرعة الضوء فى مختلف الاتجاهات .

ان قوى كولون التنافرية القوية جدا ، تجعل النواة شبيهة بزنبرك مضغوط يحاول ان يتمدد . ويكون عدد البروتونات فى ذرات العناصر الثقيلة ، كبيرا جدا (فى الاورانيوم مثلا ، عددها يساوى ٩٢) بحيث تصبح النويات غير مستقرة . وقوى التجاذب النووية التى تعمل على اخماد التنافر الكهربائى تماما فى النويات الخفيفة ، نراها لا تقوى على مقاومته الا بصعوبة فى الاورانيوم . وتكفى دفعة خفيفة (وقوع النيوترون) لكى تجعل النواة تتحطم الى نصفين ، يتطايران بتأثير قوى التنافر بسرعات هائلة . ونتيجة لشغل القوى الكهربائية بالذات ، تتحرر طاقة فى المفاعل الذرى وعند انفجار القنبلة الذرية . والطاقة المسماة بالطاقة النووية ، التى تتحرر فى هذه الحالة ، هى فى الحقيقة طاقة مغنطيسية كهربائية .

نوعان من القوى بين الذرات — ان اثبات وجود قوى كبيرة بين الذرات المتعادلة (او الجزيئات) ليس صعبا بتاتا . لنحاول كسر عصا غليظة ! انها تتألف ايضا من ذرات . ويوجد نوعان من القوى الكهربائية ذات الطبيعة المختلفة تماما ، يمكنهما التأثير بين الذرات . ولاحد هذين النوعين شبيه بسيط فى الافعال المتبادلة بين الاجسام الكبيرة ، وهو « حسن السلوك تماما » لانه يعتبر كلاسيكيا من حيث الاساس .

والنوع الثانى — هو القوى الميكانيكية الكمية ، التى غالبا ما تسمى بقوى المبادلة . ويمكن حسابها بواسطة ميكانيكا الكم ، ولكننا لو حاولنا خلق صورة واضحة المعالم لنشوء هذه القوى ، فلا بد ان تصبح هذه الصورة ناقصة . ولا يمكن بتاتا ان نصف ما يحدث فى الذرة ، بلغة الفيزياء التقليدية او الكلاسيكية ، اى باللغة العلمية الواضحة الوحيدة لدى الناس ، التى تتمثل كل تجربتهم

اليومية العادية ، فى تجربة تأمل الظواهر الخاضعة للفيزياء التقليدية . والقوى الكلاسيكية وحدها ، هى التى تؤثر على مسافات كبيرة بين الذرات . وفى هذه الحالة نجد ان الفعل المتبادل بين الذرات ، يبدى بلا شك تجاهلا ملحوظا اذا لم يكن تاما ، نحو تفاصيل تركيب الذرات بالذات . ان كلا من الفعل المتبادل بين الذرات المنفردة والفعل المتبادل بين مجموعات من الذرات ، المتحدة فى الجزيئات ، يخضع لقانون واحد . ولهذا السبب بالذات ، يسمى النوع المذكور من القوى ، بالقوى الجزيئية . ذلك لانه يمكن اعتبار الذرة حالة خاصة من حالات الجزىء ، وابسط شكل من اشكالة . واحيانا تسمى هذه القوى بقوى فان — دير — فالس ، تبعا لاسم العالم الهولندى الذى ادخلها فى نظرية الغازات واستخدمها لتفسير ظاهرة تحول الغازات الى الحالة السائلة .

وعلى مسافات كبيرة نسبيا ، لاتتنافر الذرات او الجزيئات . والذرات المجاورة المتباعدة ، تحاول دائما الاقتراب من بعضها البعض . ان القوى الجزيئية الواقعة على مسافة كبيرة — هى عبارة عن قوى الجاذبية او التجاذب .

وتنشأ قوى المبادلة عند اقتراب الذرات ، عندما تبدأ اغلفتها الخارجية بالتلامس . وهنا تظهر تماما فى الحال ذاتية الابخرة المتقابلة . والذرات هنا اما تكوّن نظاما مستقرا — جزيئا ، او تتنافر بقوة . ان اتحاد الذرات على هيئة جزيئات — هو الكيمياء . ولهذا السبب ، نجد ان قوى التلاصق الميكانيكية الكمية ، غالبا ما تسمى بالقوى الكيميائية .

ولو حاولنا تقريب الذرات من بعضها البعض الى مسافة تقل عن مجموع انصاف اقطارها ، عندئذ ستنشأ ما بينها حتما ، قوى

تنافر معينة . ولا يمكن بتاتا ادخال ذرة من الذرات الى داخل ذرة اخرى .

وتجدر الاشارة الى ان الفعل المتبادل الالكتروستاتي يعتبر اساسا لكل من القوى الجزيئية والقوى الكيميائية على حد سواء . والقوى المغنطيسية لا تلعب اى دور جوهرى هنا .

والآن سوف نتعرف على كلا النوعين من القوى بصورة اكثر تفصيلا نوعا ما .

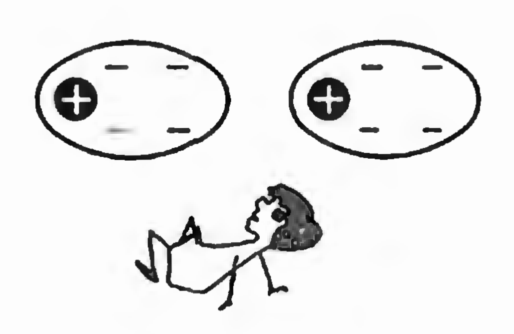
القوى الجزيئية — كيف تنشأ الجاذبية الجزيئية بين الانظمة المتعادلة كهربائيا ؟ لنحاول فى البداية ان نفهم سبب انجذاب قطع الورق الصغيرة او اية مواد اخرى خفيفة نحو الجسم المكهرب .

والآن نقرب قضيبا موجب الشحنة من شريط ورقى . ان الجسيمات المشحونة لذرات الورقة، لا يمكنها ان لا تتأثر بهذا الامر . وسنجد ان الالكترونات سوف تتحرك لمقابلة الشحنة الموجبة ، اما النواة فتعود الى الوراء قليلا . ويحدث هنا ما يسميه الفيزيائيون بالاستقطاب . وتصبح الشحنة السالبة اقرب الى الجسم المكهرب من الشحنة الموجبة ، وترجح قوة التجاذب على قوة التنافر .

ولو وضعنا محل قطعة الورق ، جزيئا واحدا فقط ، لحصل له نفس الشيء تماما . والمجال الكهربائى مثل الريح ، يجرف الالكترونات الخفيفة بعيدا قليلا عن النويات ، ويتحول الجزىء الى جزىء كهربائى ذى قطبين ، تكون فيه الشحنات المتعاكسة العلامة ، منفصلة فراغيا .

وفى كثير من المواد ، مثل الماء ، تكون الجزيئات عند ولادتها فى الحال ، مماثلة للجزى الكهربائى الثنائى القطب . وهذه الجزيئات ،





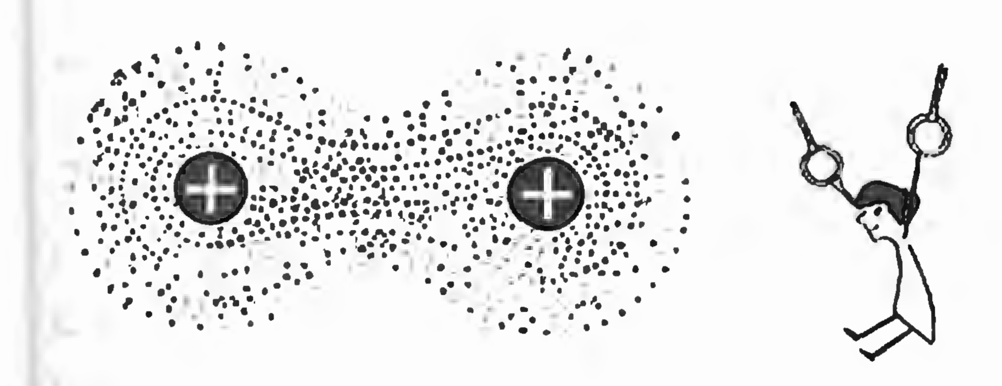
تؤدى بواسطة مجالها الكهربائى الى استقطاب جيرانها وظهور قوى التجاذب .

ولكن فقط فى الحالة التى يكون فيها للسحابة الالكترونية لكل ذرة من الذرات ، تماثل كروى تام ، لا تنشأ فيما بينها قوى تجاذب . ولكن فى الحقيقة يمكن فى المعدل فقط خلال فترة طويلة نسبيا من الزمن ، التأكيد على ان « مركز ثقل » الشحنة السالبة ، يقع فى نواة الذرة المعزولة او المنفصلة . وفى هذه اللحظة يمكن العثور على الالكترون (اذا كنا نتحدث عن ذرة الهيدروجين لاجل السهولة) فى اية نقطة على مسافة تساوى $١٠^{-٨}$ سم من النواة تقريبا . وعند الاقتراب من ذرة اخرى ، نجد ان المجال الكهربائى لنظام الالكترون ــ النواة ، يشوش حركة الكترون الذرة المجاورة ، بحيث يصبح « مركز ثقل » الشحنة السالبة للذرة منحرفا بالنسبة للنواة . ان كل ذرة (او جزىء) تستقطب جارها ، وتبدأ بالتجاذب

مع بعضها البعض . وهذا الفعل المتبادل من حيث مبدئه ، يعتبر من القوى الكولونية او قوى كولون . ولكن بما ان التجاذب بين الانظمة او المجموعات المتعادلة – هو نتيجة للتغلب المعين على التنافر الموجود فى نفس الوقت ، وبما ان درجة استقطاب الانظمة تضعف بشدة مع زيادة المسافة ، نجد بان هذه القوى تكون اضعف كثيرا من القوى الكولونية البحتة وتتناقص اسرع كثيرا ، بزيادة المسافة : اى انها تتناسب عكسيا ليس مع مربع المسافة بل مع المسافة مرفوعة إلى أس سبعة . وعندما تزداد المسافة بمرتين ، تضعف القوة ليس باربع مرات بل بـ ١٢٨ مرة ! ولهذا فان هذه القوى لا تؤثر عمليا ، اذا كانت المسافة تزيد بعشر مرات على حجم الجزيئات بالذات . وقوى فان – دير – فالس ، تعتبر قوى قصيرة المدى .

القوى الكيميائية – لقد استطاع فارادای من قبل ان يكتشف الطبيعة المغنطيسية الكهربائية للقوى الكيميائية . وقد كتب ما يلى : « ان ذرات المادة موهوبة للقوى الكهربائية بطريقة ما ، او مرتبطة بها ، واليها يعود الفضل فى خواصها الرائعة جدا ، ومن ضمنها تشابهها الكيميائى مع بعضها البعض » . وفى الوقت الحاضر ، تم بدقة اثبات الطبيعة الكهربائية للقوى الكيميائية .

ان قوى فان – دير – فالس ليست قادرة على تفسير نشوء وتكوين الجزيئات . وهى قبل كل شىء ضعيفة جدا لهذا الغرض . ولكن هذا ليس الامر الاساسى . والرابط الكيميائى يشبه الصداقة الوثيقة بين الناس ، ويتميز بخاصية التشبع المدهشة . وتستطيع ذرة الهيدروجين ان تربط معها ذرة واحدة فقط من هذا النوع ، وليس ذرتين او ثلاث ذرات بتاتا . اما ذرة الكربون فيمكنها ان



ترتبط معها اربع ذرات من الهيدروجين وليس اكثر ، وهلم جرا .
وهذه الخاصية تبدو محيرة منذ البداية . ولم يتميز اى نوع من انواع القوى التى بحثناها لحد الآن ، بخاصية التشبع . ان النجم على سبيل المثال ، يشبه الخطيب الذى يمكنه ان يتبادل الفعل مع جمهرة المستمعين مهما بلغ عددهم ، يستطيع بدوره ان يجتذب اليه اى عدد كان من الكواكب او النجوم الاخرى . والقوى المؤثرة على احدها لا تعتمد بتاتا على وجود الآخرين . والقوى المغنطيسية الكهربائية المؤثرة بين الدقائق المشحونة ، لا تتميز بخاصية التشبع ايضا . كما لا تتميز بها كذلك ، قوى التجاذب الجزيئى .

وفى الكيمياء يعبر عن خاصية التشبع بمفهوم التكافوء ، الذى ادخل بوقت سابق بكثير عن الوقت الذى استطاع فيه العلماء البدء فى تفسير طبيعة القوى الكيميائية .

ويمكن تفسير الرابط الكيميائى بصورة عامة تماما ، على انه جاء نتيجة لتآلف الالكترونات الخارجية (المتكافئة) لذرتين متحدتين . وفى حالة المسافات المحددة بين النويات ، نجد ان الالكترونات المتآلفة او المتوحدة ، تقوم اثناء مرورها بين النويّات ، بتعويض التنافر بينها ، اى بين النويات . وعندما تكون المسافات المذكورة كبيرة جدا ، لا يحدث اى تآلف او توحيد ، ولا تؤثر

سوى قوى فان ــ دير ــ فالس . ويعتمد التشبع على عدد محدود من الالكترونات المتآلفة او المتحدة .

وفى ابسط انواع الجزيئات ــ جزىء الهيدروجين ــ يسلك الالكترونان سلوكا، كما لو ان كل الكترون قد قضى جزءا من الوقت بالقرب من احدى النويات ، والجزء الثانى بالقرب من النواة الاخرى . ولهذا السبب بالذات ، تسمى القوى الناشئة نتيجة لتآلف او توحيد الالكترونات ، بالقوى المتبادلة فى اغلب الاحيان . ولكن لا يجب هنا ان نفهم كلمة « تبادل » بمعناها الحرفى تماما ، على انها تردد الالكترونات من بروتون الى آخر . ومثل هذا الوضوح الظاهر ، الخاص بالميكانيكا التقليدية ، غير موجود هنا . ان المعنى الحقيقى لظاهرة التبادل هنا ، يتلخص فى عملية التوحد الذى يحدث فى نفس الوقت ، لالكترونين بنواتين متساويتين .

ان صيغة السحابة الالكترونية لجزىء الهيدروجين (H_2) تختلف بشدة عن السحابة المتماثلة كرويا ، للذرات المعزولة . والصورة التى سنحصل عليها ، تشبه بعض الشىء ، الخلية البيولوجية القابلة للانقسام قبل عملية انقسامها النهائى .

ان النويات الذرية تناظر الخلية الوليدة (daughter cell) ، اما الشحنة الالكترونية فتناظر البروتوبلازم او الجبلة (protoplazma)* . والدفة البروتوبلازمية ، تثبت الخلايا بالقرب من بعضها البعض، الى ان تنتهى عملية الانقسام تماما . وبالنسبة للجزىء ، تلعب نفس الدور دفة من « البروتوبلازما الالكترونية » . وهى تؤدى الى ظهور

---

* سنستخدم هنا وفيما بعد ، الشرح الرمزى تماما لطبيعة القوى الكيميائية ، الذى وضعه العالم الفيزيائي السوفييتي فرينكيل .

تجاذب متبادل بين النويات بقوى كولون ، كما لو كان هناك قسم من الشحنة الكهربائية السالبة ، متمركزا فيما بينها . وعند المسافات غير الصغيرة جدا بين النويات ، نجد ان القوى الناجمة عن تآلف او توحيد الالكترونات ، تعوض تنافر النويات بزيادة معينة . وفي المسافات القليلة جدا ، يصبح ذلك القسم من الشحنة السالبة ، المتمركز بين النويات ، غير كاف . وتبدو الالكترونات وكانها تندفع من الفسحة الموجودة بين النويات نحو المنطقة الخارجية ، وهنا لا يتم التعويض عن تنافر النويات .

وهكذا نحصل على تفسير كامل لكل من التجاذب والتنافر في هذه الحالة .

وعند اتحاد ذرات مختلفة ، تتحرك الالكترونات المعممة بصورة غير متماثلة بالنسبة لكلتا النواتين . وهذا يحدث بشكل حاد جدا ، في الجزيئات المتغايرة القطبية * (المتغايرة الخواص) ، مثل ملح الطعام (NaCl) ، حامض الكلورودريك (HCl) وغير ذلك . وفي ملح الطعام على سبيل المثال ، يتم الترابط بواسطة اتحاد او تآلف ثمانية الكترونات متكافئة : واحد في الصوديوم وسبعة في الكلور . ولما كانت شحنة الكلور المتخلفة اكبر . فان كافة الالكترونات المتحدة او المتآلفة تتحرك بشدة نحو ايون الكلور ، ويظهر الاتحاد بمثابة مصادرة الكترون واحد من قبل ذرة « اقوى » تابع لذرة اخرى « اضعف » . وتصبح الذرة الاخيرة على وجه التقريب ، ايونا موجبا ، بينما تتحول الذرة الاولى الى ايون سالب ، ويتحول الترابط او الرابط الكيميائي الى تجاذب بين الشحنات

---

* خلافا للجزيئات المتماثلة القطبية او الخواص ، مثل جزيء الهيدروجين .

المختلفة العلامات . ان توزيع الالكترونات يفقد الطابع القطبى او الخاصية القطبية ، كلما قل الاختلاف بين النويات ، ويصبح متماثلا تماما فى حالة الذرات المتساوية .

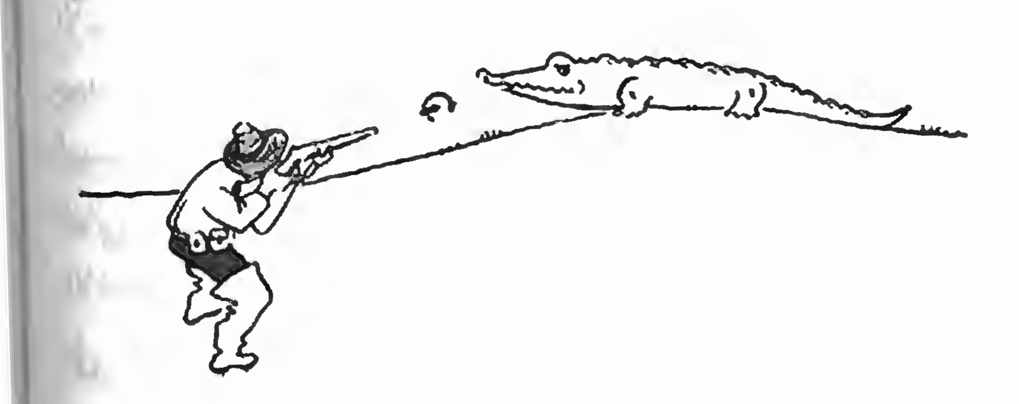
ولا يمكن للجزىء ان يظهر بمثابة مجموع ذرات غير متغيرة اى ثابتة ، موجودة فى حالة توازن بفضل قوى التجاذب والتنافر . وهذه هى آراء بيرسيليوس التى مضى عليها ١٥٠ سنة ، وتعتبر مبسطة للدرجة تقريبية .

ولا يوجد فى الجزىء رابط بين الذرات ، لانه لا توجد ذرات يمكنها ان تتحد فى جزىء ما ، وتبقى مع ذلك ثابتة على حالها . فمثلا فى جزىء الهيدروجين ، ونقول بالضبط ليست هناك ذرات هيدروجين ، تذوب ذاتيتها او فرديتها عند اندغامها فى نظام جديد . انه يحتوى فقط على « مادة خام » يمكنها ان تكون مادة لبنائها : بروتونان والكترونان . وفى هذا يكمن الاختلاف الجذرى للقوى الكيميائية عن كافة القوى التى تعرفنا عليها سابقا . ويجب ان نعتبر الجزىء بمثابة مجموع النويات ، المحجوبة بواسطة الالكترونات الداخلية ، والالكترونات المتحدة الخارجية ، التى تعتمد حركتها على المسافة الموجودة بين النويات .

كمية التحرك الذاتى الزاوى للجسيمات الاولية — لقد بقى علينا الآن ان نوضح بتفصيل اكثر المسألة الاخيرة المهمة : ما الذى يحدد تكافؤ الذرة ؟ وهنا يجب علينا ان نتعرف مسبقا على خاصية اساسية اخرى من خواص الجسيمات الاولية ، تسمى بكمية التحرك الذاتى الزاوى (Spin) . ان كمية التحرك الذاتى الزاوى بالذات ، بالاضافة الى مبدأ باولى ، قد ساعد العالمين هايتلر ولندن فى انجلترا ، على صياغة النظرية الكمية للاربطة الكيميائية وتفسير التكافؤ .

ان كمية التحرك الذاتي يناظر ظاهريا « الدوران الذاتي » للجسيمات . ولكن من السذاجة ان نتصورها على هيئة دوامات او خذاريف تدور حول محورها . ولا يجب ان ننسى بان الجسيمات ليست كريات ، وعامة ليست ذلك الشيء الذي يمكن ان يرسم صورته اكبر رسام حاذق . وعلى اية حال رسام على الطبيعة . ان تصوراتنا المنظورة جيدة او صالحة بالنسبة لعالم « الاشياء الكبيرة » اى للعالم المنظور بالعين ، ولكن الامر لا يساعد شيئا عندما نبدأ بدراسة ظواهر العالم الدقيق ، اى الظواهر الميكروسكوبية . وهنا بعد ان نقرأ بدهشة ان كمية التحرك الذاتي الزاوى مرتبطة بالدوران الذاتي ، وفي نفس الوقت لا يمكن التحدث عن اى دوران ميكانيكي واضح للجسيمات ، يمكن ان يتملكنا شعور باننا مخدوعين ؛ لذا سوف نسأل بعناد : ما هى كمية التحرك الذاتي الزاوى اذن ؟

عندما تنطلق رصاصة من سبطانة بندقية محززة ، فانها عند طيرانها تدور حول محور افقى ، اى حول المحور المنطبق مع اتجاه انطلاقها . ولنتصور الآن لحظة الصيد برصاصات تدور حول نفسها بشدة (شيء يشبه حادثة مونهاوزن) . وبعد ان تستقر في الهدف ، تنقل دورانها اليه ، يبدأ الهدف في الحال بالدوران في نفس الاتجاه الذي تدور فيه الرصاصة . ويقول الفيزيائيون



ان عزم الدوران الذى كان فى البداية موجودا لدى الرصاصة فقط ، توزع الآن بين الرصاصة والهدف الذى استقرت فيه . ان عزم دوران مجموعة من الاجسام لا يمكنه من تلقاء نفسه ، بدون تأثير خارجي ، ان يزداد او ينقص . وهذا يمثل جوهر قانون حفظ عزم الدوران او عزم كمية الحركة . ولكن المسألة ليست فى المصطلحات . انها ليست مهمة جدا بالنسبة لنا . ولسنا بحاجة الى صياغة دقيقة لهذا القانون الحفظى المهم جدا ، الذى يقف فى الحقيقة الى جانب قانونى حفظ الطاقة وكمية الحركة . بل المهم ان تستوعب فقط ، انه فى الامكان استنادا الى دوران الهدف (بصورة كمية دقيقة !) ان نعرف او نحكم على اتجاه الدوران السابق للرصاصة .

ولنتصور الآن بان الهدف يقذف بالالكترونات او غيرها من الجسيمات الاولية ويبتلعها بعد ذلك . واذا كانت كافة الجسيمات مفتولة فى نفس الاتجاه ، فانها عندما تبتلع من قبل الهدف ، يجب ان تزوده بدوران معين . وهكذا كلما زادت كمية التحرك



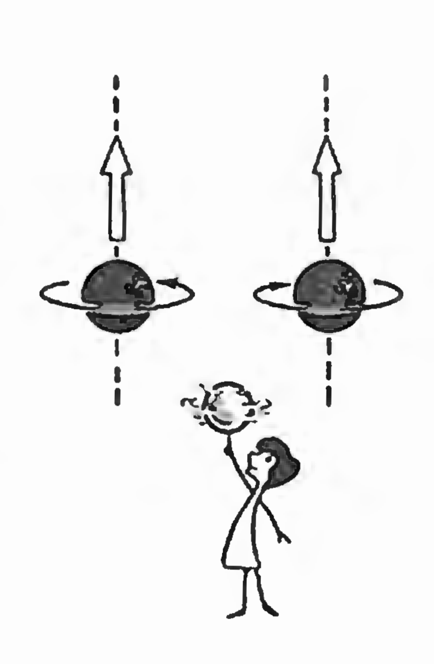
الذاتي الزاوى ، كلما بدأ الهدف بالدوران بصورة اسرع او اشد . وليست هناك ضرورة لان نحاول بلا جدوى البحث عن تفسير لكمية التحرك الذاتي ، في اية ظواهر او صور ميكانيكية مهما كانت . ولدينا في تجارب استخدام الهدف ، مخططا مبدئيا لكيفية قياس كمية التحرك هذه ، وهذا يعتبر كثيرا لحد الآن .

وبطبيعة الحال تطرقنا فقط الى سطح الظاهرة فقط ، ولكن تحت هذا السطح تختفي اهم خواص قوانين الحركة والفعل المتبادل للجسيمات الاولية .

ولكن هذه الناحية الخارجية او السطحية ، تساعدنا على مقارنة كميات التحرك الذاتي لمختلف الجسيمات الدقيقة ، وتعطي بذلك فكرة معينة عن الخاصية الجديدة لاشياء العالم الدقيق .

وبطبيعة الحال ان تجربة الهدف التي شرحناها الآن ، هي شبيه تقريبي للغاية ، للتجارب الفعلية ، ولكننا سوف لا نعقد حديثنا بتفاصيل زائدة .

وهكذا ، لنتصورَ ان الهدف — ولنفرض بانه عبارة عن قطعة نقود نحاسية صغيرة — يتعرض لفوهة بندقية تطلق عليه جسيمات اولية ، مفتولة في اتجاه واحد . وسوف تظهر هنا حالة رائعة . عند تساوى عدد اصابات مجموعة كاملة من الجسيمات — مثل الالكترونات ، البروتونات ، النترونات وغيرها — فانها تكسب الهدف عزما متساويا لكمية الحركة . ولها في التالي كمية تحرك ذاتي زاوى متساوية . وجسيمات الضوء — الفوتونات — تكسب الهدف عزم دوران يساوى الضعف ، اما بعض الجسيمات المعينة ، مثل الميزونات — π ، فانها لا تولد اى دوران بصورة عامة . وكمية تحركها الذاتي الزاوى ، تساوى صفرا .

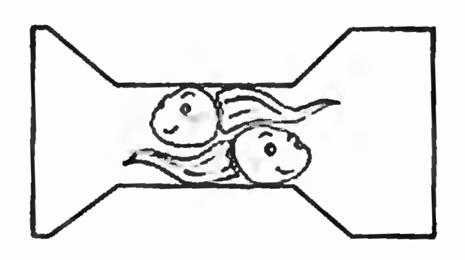


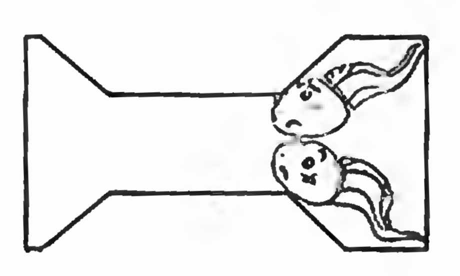
والقيمة العددية لكمية التحرك الذاتى ، معروفة بصورة دقيقة جدا : انها تساوى اما صفرا ، او $\frac{h}{2}$ ، او h ، حيث h تمثل ثابت بلانك المعروف (Planck's constant) ، الذى سيصادفنا مرات كثيرة فى المستقبل . وكمية التحرك الذاتى للالكترون تساوى $\frac{h}{2}$. وثابت بلانك صغير الى درجة كبيرة جدا (عدد يسبقه ٢٧ صفرا بعد الفارزة) بحيث لا ينجز الهدف دورة واحدة فى الثانية فقط ، الا اذا استمرينا فى قذفه بالالكترونات لمدة زمنية تساوى ١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ سنة ، بمعدل الف اطلاقة فى الثانية الواحدة . وقد يبدوا لا فائدة من الحديث عن مثل هذه القيمة الصغيرة ، ولكن لا يجب ان نستعجل الامر . ان الوضع هنا يشبه تقريبا الوضع الذى نحاول فيه تدوير القمر ، بان نصوب عليه من بندقية ذات سبطانة محززة . وليس من التعقل جدا ان نتحدث عن كمية التحرك الذاتى « الصغيرة » او « الكبيرة » : ان المقاييس المعمول بها فى العالم الدقيق ، تعتبر غير مألوفة لدينا . ان المهم هنا هو وجود كمية التحرك بالفعل فى حالات كثيرة ، وخاصة عند اتحاد الذرات والجزيئات .

والالكترون كما تبين التجربة ، يمكن ان يفتل بطريقتين فقط : ان دوران الالكترون يشكل اما لولبا ايمن او لولبا ايسر

مع اتجاه حركته . ويمكن ان يفتل الهدف ايضا تبعا للملك . وبعبارة اخرى يمكن القول بوجود اتجاهين فقط لكمية التحرك الذاتى بالنسبة لاى اتجاه آخر . ولذلك ، اذا كانت كمية التحرك الذاتى لاحد الالكترونات مثبتة ، فسوف تكون كمية التحرك الذاتى للالكترون الآخر ، اما موازية للاولى او موازية لها ومعاكسة فى الاتجاه .

ما الذى يحدد تكافؤ الذرات ؟ — ان التوجيه المتبادل لكميات التحرك الذاتى ، تعتبر العامل الحاسم عند تكوين جزىء الهيدروجين . وينشأ الرابط الكيميائى فقط فى تلك الحالة التى يكون فيها للالكترونات المتحدة او المتآلفة ، كميات تحرك ذاتى متعاكسة الاتجاهات . وعندما تتصادم ذرات الهيدروجين ذات كميات التحرك المتوازية ، تتحد الالكترونات ايضا لمدة معينة من الزمن ، ولكن لاتنشأ هناك حالات ثابتة . وتؤدى عملية الاتحاد فى هذه الحالة الى ظهور قوى تنافر بغض النظر عن المسافات الموجودة بين النويات . وذلك لان الاتجاه المتبادل





لكميات التحرك الذاتى، تحدد طبقا لقوانين ميكانيكا الكم ، طبيعة حركة الالكترونات. وفى حالة كميات التحرك المتوازية والمتعاكسة، تقضى الالكترونات مدة اطول نسبيا، بين النويات، بحيث يصبح معدل كثافة الشحنة السالبة ، كافيا لتعويض تنافر النويات . وفى حالة كميات

التحرك المتوازية ، تكون هذه الكثافة قليلة ، ويحدث التنافر .
ان الالكترونات ذات كميات التحرك المتساوية الاتجاهات ، لا يمكنها مرة واحدة ان تحشر نفسها فى المسافة الفاصلة بين النويات ، كما حاول فرخان من فروخ الضفدعة ، ان يدخل رأسيهما جنبا الى جنب فى نفس الوقت ، فى شق او ثقب ضيق . ان الفراغ الموجود بين النويات ، يسمح بدخول الالكترونات ذات كميات التحرك المتعاكسة الاتجاهات ، تماما مثلما يسمح الشق او الثقب بدخول فرخى الضفدع « المتوازيين والمتعاكسين فى الاتجاه » . وبطبيعة الحال ، لا يوجد هنا اى شىء بتاتا عدا نتيجة نهائية واحدة فقط . ان الالكترون ليس فرخ ضفدع ، ولا يمكن لاية مقارنة او اية استنادات الى الحقائق المعروفة فى الفيزياء التقليدية ، ان تجعلنا نفهم (اذا بقينا فى مواقعنا التقليدية) السبب الذى جعل اتجاه او توجيه كميات التحرك الذاتى ، تؤثر تأثيرا جوهريا على حركة الالكترونات : ان التأثير برمته ، هو تأثير كمى خالص .
وهكذا تشكل الاربطة الكيميائية ، ازواجا من الالكترونات لها كميات تحرك ذاتى متوازية ومتعاكسة فى الاتجاه .
والآن اصبحت امامنا جاهزة ، كل الاشياء اللازمة لتفسير الإشباع والتكافؤ . نبدأ بابسط الاشياء . لماذا لا يستطيع جزىء الهيدروجين (H_2) ان يربط مع نفسه ذرة اخرى اضافية ؟ ولماذا على سبيل المثال ، لا يمكن ان نربط مع الالكترونات الثلاثة كافة ، النويات الثلاث مباشرة ؟
هذا ممنوع استنادا الى مبدأ باولى . ان الالكترونات المتحدة ، تقع فى نفس الحالة الكمية ، لذا يجب ان تختلف عن بعضها

البعض بكمية التحرك الذاتي الزاوى. ولكن يوجد هناك اتجاهان ممكنان فقط ! ولهذا السبب يسمح لالكترونين لهما كميتا تحرك ذاتي متوازيتان ومتعاكستان في الاتجاه، ان يشكلا رباطا مع بعضهما البعض، ولكن الالكترون الثالث يصبح في هذه الحالة زائدا بالمرة.

وبعد ان يتم تكوين جزىء الهيدروجين ، سوف يعمل دائما على دفع ذرات الهيدروجين . وهذا الامر هو الذى يفسر ظاهرة التشبع .

ويجب ان ننتبه ايضا الى شيء آخر هنا . ان كل ذرة من ذرات الهيدروجين ، المندغمة في الجزىء ، تمتلك الكترونا واحدا ذا كمية تحرك ذاتي اختيارية الاتجاه . اما جزىء الهيدروجين فيمتلك زوجا من الالكترونات ، له كميتا تحرك ذاتي متوازيتان ومتعاكستان في الاتجاه ، ولا يربط مع نفسه اية ذرات جديدة .

ولهذا الظاهرة او التأثير ، اهمية عامة تماما . ان الالكترونات التى تؤلف ازواجا ذات كميات تحرك متوازية ومتعاكسة في الاتجاه ، في كل ذرة من الذرات ، لا تشترك في الرباط الكيميائي. وهذا الرباط لا يمكن ان تكونه الا الالكترونات ذات كميات التحرك الذاتي الطليقة .

وفي الاغلفة الداخلية المملوءة تماما ، تشكل الالكترونات دائما ازواجا ، ولا تشترك في الاربطة الكيميائية . وتتميّز بنفس الطبيعة ايضا ، الاغلفة الخارجية للغازات الخاملة ، التى تعتبر لهذا السبب بالذات ، غير فعالة كيميائيا بالمرة في الحالة غير المثارة . فقط في تلك الحالة ، التى يكون فيها الغلاف الخارجيّ للذرة غير مملوء تماما ، عندئذ تستطيع الكتروناتها ان تكوّن اربطة كيميائية .

ولكن لا ينطبق ذلك على كافة الالكترونات ! ان عدد الالكترونات التى تمتلك كميات تحرك ذاتي « طليقة » وبالتالى يكون فيها تكافؤ الذرة ، مساويا اما لعدد الالكترونات الخارجية غير الداخلة ضمن الاغلفة المقفلة ، او لعدد الالكترونات غير الواصلة لحد استكمال الغلاف ، تبعا للعدد الاقل من هذين العددين المذكورين .

وهكذا ، بغض النظر عن هذه القيمة الضئيلة جدا لكمية التحرك الذاتي فى المقاييس الظاهرية الكبيرة ، نجد ان قيمة كمية التحرك الذاتي للالكترون ، تحدد كل « كيمياء » الذرات . وبمسايرة المقاييس الكبيرة ، نجد ان التفاعلات الكيميائية ، ابتداء من الاحتراق البسيط وانتهاء باعقد التحولات الجارية فى داخل الكائن الحي ، تؤدى الى حدوث تغيرات فى العالم ، تعيد تنظيم مظهره الخارجي برمته .

الغازات والسوائل والاجسام الصلبة — لو حاولنا بصورة عامة جدا ، ان نتصور تركيب الغازات والسوائل والاجسام الصلبة ، لامكننا رسم الصورة التالية : تحاول جزيئات (او ذرات) الغاز ان تنطلق بشدة مثل العدائيين السربعين ، فى الفراغ الذى يشغله الغاز . والمسافات الفاصلة بينها ، تزيد كثيرا على حجومها بالذات . وبتصادمها مع بعضها البعض عند انطلاقها المذكور ، فانها تقفز من جانب الى آخر بخطوط متعرجة شديدة الغرابة .

اما جزيء السائل فيسلك بطريقة تختلف عن ذلك . ولما كان هذا الجزيء محصورا بين الجزيئات الاخرى ، وكأنه موجود فى قفص ، يقوم بالركض فى محله (يراوح بالقرب من وضع التوازن) . ومن فترة الى اخرى فقط ، يقفز من محله ، مخترقا

« قضبان القفص » ولكنه سرعان ما يقع فى قفص آخر ، مؤلفة من جيران جدد . وتستمر مدة استقرار الجزىء مايقارب الجزء الواحد من عشرة ملايين جزء من الثانية الواحدة .

ولا تستطيع ذرات الاجسام الصلبة ان تشق « الطرق » التى تربطها مع اقرب جيرانها ، وهى ملزمة بالمراوحة فى مكانها فقط . وفى الحقيقة يمكنها احيانا ان تترك وضع التوازن ايضا ، ولكن هذا يحدث نادرا ، ولا يمكن اهمال اختلاف مهم آخر ، بين السوائل والاجسام الصلبة . ان السائل على وجه التقريب ، هو عبارة عن مجموعة من الجسيمات الفردية ، المتزاحمة باضطراب فى محلها . اما الجسم الصلب فهو عادة عبارة عن مجموعة متراصة منتظمة ، بالرغم من عدم استقرار جسيماتها الفردية فى محلها بسكون ، نتيجة للحركة الحرارية ، لكنها تحافظ على وجود مسافات فاصلة معينة مع بعضها البعض . ولو وصلنا مراكز اوضاع توازن الذرات او الجزيئات ، لحصلنا على نسق شبيكى منتظم (فراغى او مجسم بطبيعة الحال ، وليس مستويا) ، يسمى بالنسق البلورى . واكثر الاجسام الصلبة ، تمتلك نسقا بلوريا معينا . وبالنسبة للاجسام غير المتبلورة فقط ، مثل الزجاج ، لا يوجد اى نظام دقيق فى ترتيب الجزيئات . ولهذا السبب بالذات ، غالبا ما يعارض العلماء من تصنيفها ضمن الاجسام الصلبة ، معتبرينها سوائل لزجة جدا ، وخالية تماما تقريبا من خاصية المطاوعة .

الخواص المرنة للسوائل والغازات — اننا نعرف الآن المعلومات الضرورية لكى نفهم مصدر نشوء القوى المرنة فى السوائل والغازات . وعند الرغبة يستطيع القارىء ان يتدبر هذا الامر بنفسه . ليحاول القارىء ان يفعل ذلك ، واذا لم يتكاسل ، ليفترض ايضا فى ذاكرته ،

الشيء الذى سوف يقرأ عنه فيما يلى . ولكن القراءة ستكون مملة قليلا ، ذلك لانه سيكون فى الامكان مواصلة القراءة ابتداء من قصة الشد السطحى ، حيث سيكون الامر اصعب من ذلك بكثير .

وفى الغازات والسوائل (ما عدا المعادن المنصهرة) ، لا تؤثر من بين قوى التجاذب او الشد ، سوى قوى فان ديرفالس ، وفى الاجسام الصلبة تؤثر بالاضافة الى ذلك القوى المتبادلة ايضا .

ان قوى فان ديرفالس تحتجز جزيئات السائل بالقرب من بعضها البعض على مسافات قريبة تساوى حجوم الجزيئات بالذات تقريبا . ولو حاولنا ان نضغط السائل ، فسوف تبدأ جزيئاته بالاقتراب من بعضها البعض ، وسوف تبدأ بالظهور فيما بينها بسرعة ، قوى التنافر . وهنا تكون الجزيئات مرتبة بصورة متراصة للغاية ، بحيث تصل قيمة قوى التنافر الى حد كبير عند اية زيادة قليلة فى التقارب .

اليس حقا ان فهم ذلك ليس اصعب بتاتا من فهم سبب صعوبة الانحشار فى باص مملوء للغاية بالركاب .

وليس اصعب من ذلك كثيرا ، ان نفسر السبب الذى جعل السائل السائب ، لا يستطيع المحافظة على شكله الخارجى . فعند تأثير قوة خارجية (هى عادة قوة الجذب نحو الارض) ، يحدث القفز الذى تقوم به جزيئات السائل ، والذى تحدثنا عنه سابقا ، فى اتجاه تأثير القوة ، ونتيجة لذلك ينساب السائل . ويجب هنا فقط ، ان تكون مدة تأثير القوة اكبر كثيرا من مدة استقرار الجزيئات . وخلافا لذلك ، لا تؤدى القوة الا الى ظهور تشوه مرن للقص او للزحف ، وهنا يصبح الماء العادى صلبا مثل الفولاذ .

وعند التسخين تزداد طاقة الحركة الحرارية للجزيئات ، ويزداد تردد قفزات الجزيئات . وفى نهاية المطاف تصبح قوى فان ديرفالس

غير قادرة على احتجاز الجزيئات المنطلقة في كافة الاتجاهات ، وينتهي وجود السائل . اي ينشأ الغاز .

وتنطلق جزيئات الغاز في كافة الاتجاهات ، وهنا يفقد التجاذب الجزيئي سيطرته عليها . وتفقد المادة في هذه الحالة ليس شكلها الخارجي فحسب ، بل وحجمها ايضا . ومهما وسعنا الوعاء الذى يحوى الغاز ؛ فانه سيملأ ذلك الوعاء كليا بدون اى تدخل من ناحيتنا .

ان صوت تطبيل الضربات اللامتناهية للجزيئات الغازية على جدران الوعاء تولد ضغطا معينا .

الشد السطحي — ان بعض القوى مثل قوة الجاذبية ، قوة المرونة وقوة الاحتكاك ، تبرز للعين بوضوح ، ونحس بها مباشرة في كل يوم . ولكن في عالم الظواهر اليومية العادية المحيط بنا ، تؤثر قوة اخرى ايضا ، لا نعيرها عادة اى اهتمام على الاطلاق . ان هذه القوة ليست كبيرة نسبيا ، وتأثيرها لايؤدى بتاتا الى ظهور مؤثرات قوية جدا . ومع ذلك فاننا لا نستطيع ان نصب الماء في القدح ، وبصورة عامة لا نستطيع ان نفعل اى شيء باى سائل من السوائل بدون تأثير القوى التي سنتحدث عنها الآن . انها قوى الشد السطحي .

وقد تعودنا جدا على ظواهر الشد السطحي الى درجة كبيرة بحيث اننا لا نلاحظها الا اذا اطلقنا فقاعات الصابون الذى نتلهى بها . ولكنها تلعب في الطبيعة وفي حياتنا ايضا ، دورا كبيرا . اذ بدونها لما استطعنا ان نكتب بالحبر مثلا . ولما كان باستطاعة قلم الحبر العادي ان يغرف الحبر من المحبرة ، اما قلم الحبر الاوتوماتي فكان سيترك بقعة حبر كبيرة ، بعد ان يفرغ خزانه

ولهذا السبب بالذات، يمكن لمقاييس الماء الخفيفة ان تنزلق بسرعة على سطح الماء ، مثلما ينزلق المتزلجون على سطح الجليد .

ان انحناء الغشاء السطحي الرقيق ، لا يسمح للماء بالانسكاب ، عندما يصب بحذر في غربال متعدد الثقوب المتقاربة جدا . وهكذا يصبح في الامكان « نقل الماء في الغربال » . وهذا يثبت كيف يصعب احيانا ، حتى عند الرغبة ، التفوه بشيء لا معنى له . والنسيج هو ايضا عبارة عن غربال ، متكون من خيوط محاكة . ان الشد السطحي يعرقل بشدة ترشح الماء من خلاله ، لذا فانه لا يتبلل برمته مباشرة في نفس اللحظة .

وكان الغشاء السطحي اثناء محاولته التقلص ، سيعطي السائل شكلا كرويّا ، لولا الجاذبية . وكلما زاد حجم القطرة زادت اهمية الدور الذي تلعبه القوى السطحية بالنسبة للقوى الحجمية (الجاذبية) . ولهذا نجد ان القطرات الصغيرة للندى ، قريبة الشكل من الكرة . وعند السقوط الحر ، تنشأ حالة انعدام الوزن ، ولهذا السبب ، نجد ان قطرات المطر تكون كروية الشكل تماما تقريبا * . ونتيجة لانكسار الاشعة الضوئية في هذه القطرات ، يظهر قوس قزح . ولولا الشكل الكروي للقطرات ، لما ظهر قوس قزح كما تثبت النظرية .

ان مظاهر قوى الشد السطحي ، متنوعة الى درجة كبيرة جدا ، بحيث لا توجد حتى امكانية تعدادها في كتابنا هذا (لقد فعل ذلك مؤلف الكتاب الرائع « فقاعات الصابون » الاستاذ ج . بويس) . ولكننا يجب ان نتحدث ولو باختصار عن سبب نشوء هذه القوى .

---

* ان الانحراف القليل عن الشكل الكروي ، يأتي في القطرة نتيجة لمقاومة الهواء . والماء المصبوب في داخل قمرة سفينة الفضاء ، يتجمع على هيئة كرة منتظمة .

واذا اشتركت مجموعة كبيرة من الجسيمات الفردية فى خاصية جذب احدها للآخر ، او حاولت الجسيمات الفردية من تلقاء نفسها ان تنجذب نحو بعضها البعض ، فسوف تكون النتيجة واحدة : سوف تجتمع جميعها فى كتلة واحدة مثل جماعة النحل . وكل جسيم فردى منها « يحاول » التوغل الى داخل هذه الكتلة ، ونتيجة لذلك يتقلص سطح الكتلة مقتربا من الشكل الكروى . وامام القارىء نموذج لنشوء الشد السطحى .

ان جزيئات الماء (او اى سائل آخر) تكون مجذوبة نحو بعضها البعض بقوى فان — دير — فالس — وهذا هو تجمع الجسيمات الفردية ، التى تحاول الاقتراب من بعضها البعض . وكل جزىء على السطح ، ينجذب من قبل اشقائه ، لذلك يميل الى الغوص الى الاعماق فى كل من السوائل والاجسام الصلبة على حد سواء . ولكن السائل خلافا للاجسام الصلبة ، ينساب نتيجة لقفزات الجزيئات من احد المواضع « المجاورة » الى موضع مجاور آخر . وهذا يساعد السائل على اكتساب ذلك الشكل او الحجم الخارجى ، الذى عنده يكون عدد الجزيئات على السطح اقل ما يمكن ، والكرة فى هذه الحالة الحجمية المعينة ، اقل سطح ممكن . ان سطح السائل يتقلص ، ونحن نتقبل ذلك على انه شد سطحى .

وهنا نكتشف بان اصل نشوء القوى السطحية يختلف تماما عن اصل القوى المرنة للغشاء المطاطى المشدود . وهذا صحيح بالفعل . وعند تقلص المطاط تضعف القوة المرنة ، اما قوى الشد السطحى لا تتغير بتاتا بقدر تقلص سطح الشريط او الغشاء ، وذلك لان المسافة المتوسطة بين الجزيئات لا تتغير .

وهكذا لا يجوز تفسير نشوء القوى السطحية بنفس الطريقة

البسيطة والواضحة لتفسير قوى المرونة ، حيث يرتبط كل شيء بتغير المسافات بين الجزيئات . ان المسألة هنا اعقد بكثير ، لان قوى الشد السطحي تظهر عند الاعادة المعقدة لبناء شكل السائل برمته ، بدون تغيير حجمه .

اربعة انواع من البلورات — لنأخذ مثلا الماس وشمعة البرافين ... ان الماس يعتبر رمز الصلادة ، اما البرافين فهو مثل الشمع لين ومطاوع . ويمكن ان نفكر مباشرة بان استقطاب الخواص يناظر استقطاب وصل تلك العناصر المتفردة ، التي تتألف منها هذه المواد ، في مادة واحدة .

وعند التفكير بهذه الطريقة ، لا يخطيء القاريء بتاتا . ان البرافين يتألف من جزيئات منفردة مرتبطة مع بعضها البعض بقوى فان — دير — فالس . ويمكن اعتبار بلورة الماس بمثابة جزيء واحد عملاق . وقوى التجاذب الجزيئي اضعف بكثير من القوى الكيميائية ، وهكذا لا يمكن مقارنة صلادة البرافين باي حال من الاحوال مع صلادة الماس .

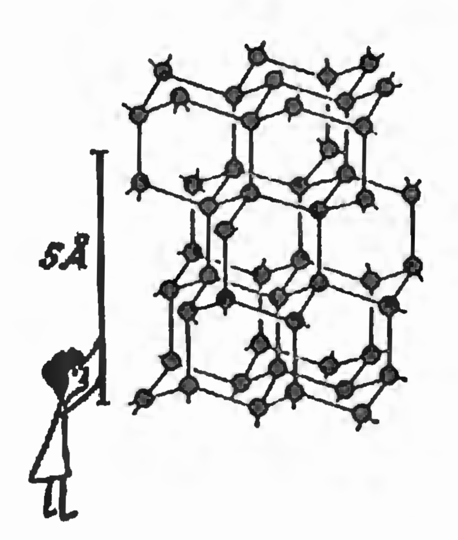
ان البلورات المؤلفة من جزيئات منفردة تسمى بالبلورات الجزيئية * . والماس هو عبارة عن بلورة التكافؤ .

وهذا الاسم لم يطلق عليه باعتباط . ان عدد اقرب الجيران لكل ذرة من ذرات الكربون في الماس ، يساوي رقم تكافؤه ، اي اربعة . واي جارين من الجيران ، يستحدثان فيما بينهما رباطا

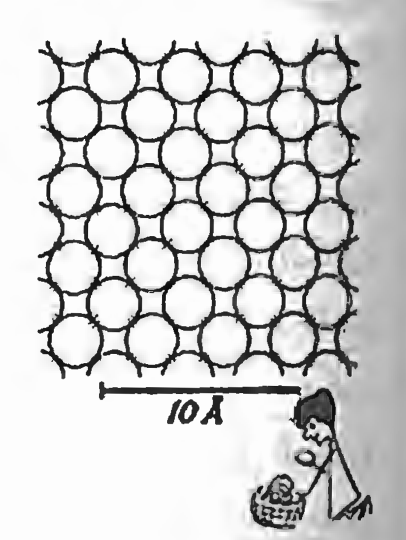
---

* من بين البلورات الجزيئية ، بلورات تتألف من جزيئات متجانسة الخواص او القطبية : الهيدروجين ، النتروجين وغيرهما . ان الجليد الجاف (حامض الكربونيك الصلب) والعديد من المواد العضوية الاخرى ، تعتبر ايضا بمثابة بلورات جزيئية .

مزدوج الالكترونات ، محررين عند ذلك الكترونا واحدا لكل منهما . ولكن لا يجوز ان نفكر بان هذا الزوج المتحد يعود الى ذرتين من الذرات فقط. اذ تخرج من الذرة الى جيرانها ، اربعة دروب،ويمكن ان يتحرك الكترون التكافوء المعلوم على امتداد اى



درب كان منها . وبوصوله الى الذرة المجاورة ، يمكنه الوصول الى الذرة التالية بعدها ، ويتجول على تلك الدروب ــ الاربطة على امتداد البلورة باكملها . ويمكن تصوير النسق البلورى للماس على المخطط المستوى ، على هيئة شرطات فى نقاط التلامس ، كما مبين فى الشكل . والقاعدة الوحيدة التى لا يمكن تغييرها ، والتى يجب ان تطبقها الالكترونات ، تأتى من مبدأ باولى : لايمكن ان يتحرك فى نفس الوقت على « درب » واحد اكثر من الكترونين بتاتا . والكترونات التكافوء المتحدة ، تعود الى البلورة برمتها ككل ، ولهذا السبب نجد ان البلورة فى الحقيقة، هى عبارة عن جزىء عملاق او هائل الحجم . ان اربطة الماس المزدوجة الالكترونات متينة جدا ولا تنقطع بزيادة الذبذبات الحرارية للذرات ، اى بزيادة درجة الحرارة، ولهذا السبب ، نجد ان الماس



لا يوصل التيار الكهربائى . ان الكترونات التكافوء المشاركة فى رباط او ترابط الذرات ، متصلة بقوة مع النسق البلورى ، ولا يبدى المجال الكهربائى الخارجى اى تأثير ملحوظ على حركتها . ان بلورات السليكون والجرمانيوم مشابهة لبلورة الماس ، ولكن اربطتها الالكترونية المزدوجة ، ليست قوية او متينة جدا. والتسخين القليل يؤدى الى انقطاع بعض الاربطة المعينة . وتترك الالكترونات الدروب المطروقة وتحصل على حريتها . وفى المجال الكهربائى الخارجى ، تنتظم الالكترونات بين عقد النسق البلورى ، مكونة تيارا كهربائيا . وتسمى المواد المشابهة لذلك ، باشباه الموصلات .

ان توحد الكترونات التكافوء ، يربط كذلك ما يسمى بالبلورات الايونية : مثلا ملح الطعام (NaCl) ، بروميد الفضة (AgBr) وغير ذلك . وفى جزىء ملح الطعام كما يذكر القارىء ، تتحول عملية الاتحاد فى الحقيقة الى نزع الكترون واحد من الصوديوم ، من قبل الكلور . ويحدث نفس الشىء فى بلورة ملح الطعام . ان كافة الكترونات التكافؤ تتحرك فى الواقع على امتداد العقد الكلورية للنسق البلورى ، وتتألف البلورة فى هذه الحالة اذا صح التعبير ، من ايونات متعاكسة العلامات . ويتم الارتباط فى هذه الحالة بواسطة قوى التجاذب الالكتروستاتية .

والنوع الرابع من البلورات — يتمثل فى المعادن والسبائك . عند تكوين قطعة المعدن من ذرات مستقلة ، تفقد الكترونات التكافوء تماما ، ارتباطها مع الذرات ، وتصبح « ملكا خاصا » للقطعة برمتها . ان الايونات الموجبة « تعوم » فى « سائل » سالب ، مكون من الكترونات متحدة . وهذا « السائل » يملاء كافة الفواصل الموجودة بين الايونات ويجذبها بقوى كولون. وهكذا يكون الرابط متميزا

بطبيعة كيميائية ، كما هي الحالة في بلورات التكافوء * ولكن الاختلاف عن بلورات التكافوء ، كبيرا جدا . ففي حالة بلورات التكافوء ، تلور الالكترونات المتحدة ، على طرق محددة بالضبط ، بين الذرات المتجاورة. اما في المعدن ، فتكون الالكترونات طليقة ويمكنها ان تتحرك في كل ارجاء القطعة في كافة الاتجاهات . وهذا يظهر بوضوح وجلاء . ان المعادن والسبائك موصلة جيدة للتيار الكهربائي ، في الوقت الذي تكون فيه بلورات التكافؤ في معظمها ، عازلة للتيار الكهربائي .

والرباط الضعيف جدا لالكترونات التكافوء مع الذرات في المعدن ، هو سبب هذه الحرية النسبية التي تمتلكها الالكترونات في داخل المعادن . اما في بلورات التكافو ، فنجد بان هذا الرباط اقوى بكثير .

وهكذا ، في البلورات الجزيئية فقط ، يتم الارتباط بواسطة قوى فان ـ دير ـ فالس . اما في بقية الاجسام الصلبة ، فتحدث عملية توحيد الالكترونات بهذا الشكل او ذاك. وفي الاجسام غير المتبلورة ، غالبا ما يتم تراكب الاربطة ذات الطبيعة المختلفة . وفي الزجاج يحدث في نفس الوقت فعل متبادل تكافئي وايوني ،

---

* ان طبيعة الرابط او الرباط في المعادن المنصهرة ، هي نفس الطبيعة التي في المعادن الصلدة .

بينما يحدث فى المركبات العضوية المعقدة ، فعل متبادل تكافئى وجزيئى فى نفس الوقت .

نهاية سلسلة الاسئلة – بعد كل ما ذكرناه عن القوى بين الذرات والجزيئات وعن تركيب الاجسام الصلبة ، اصبح من السهل جدا ان نجيب عن سبب نشوء قوى المرونة عند انحناء المنضدة . (من الاقل سهولة صياغة نظرية كمية ، ولكننا سوف لا نفعل ذلك هنا) .

ومهما كان نوع المنضدة ، خشبية ، بلاستيكية او معدنية – فى كافة الحالات عند الانضغاط تقترب الذرات من بعضها البعض ، وتبدأ بالتنافر نتيجة لذلك . اذ تنشأ هنا قوة المرونة . وقوى التماسك او التلاصق بين الذرات والجزيئات ، سوف تعرقل الشد هنا .

ان الكتاب الموضوع على المنضدة ، يضغط بخفة على القسم العلوى من اللوحة الخشبية ، ويشد اللوحة السفلى . وتستمر هذه العملية الى ان تتغير المسافات الموجودة بين الذرات ، الى الحد الذى يجعل قوة المرونة تعادل ثقل الكتاب . وعندما نرفع الكتاب ، تعود المسافات الفاصلة بين الذرات الى وضعها السابق ، كما يسترجع سطح المنضدة شكله السابق .

ان كل شىء بسيط هنا . واذا فهمنا الامر الرئيسى – اى طبيعة القوى الكهربائية بين الانظمة المتعادلة – عندئذ يمكننا بكل حق ان نؤكد على ان سر نشوء قوى المرونة ، لم يعد خافيا علينا .

الاحتكاك الجاف – وهكذا اصبحنا نعرف سبب عدم سقوط الكتاب مخترقا سطح المنضدة . ولكن ما الذى يمنعه من الانزلاق عندما يميل سطح المنضدة قليلا ؟ انه الاحتكاك طبعا !

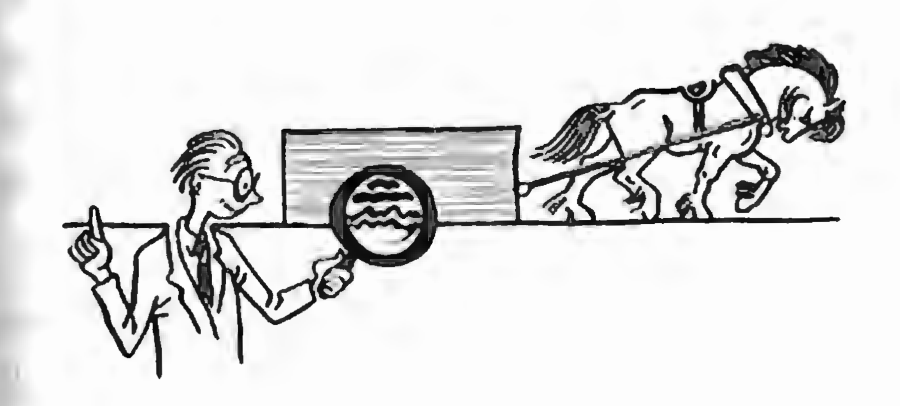
ويبدو للوهلة الاولى انه من السهل جدا تفسير نشوء قوة الاحتكاك . ذلك لان سطح المنضدة وجلد الكتاب خشنان . ويمكن الشعور بذلك بواسطة اللمس ، كما يمكن ان نرى تحت المجهر ، ان سطح الجسم الصلب يشبه الارض الجبلية اكثر من اى شيء آخر . ان النتوءات التي لا تحصى تتصل ببعضها البعض ، وتتشوه قليلا ولا تسمح للكتاب بالانزلاق . وهكذا نجد ان قوة الاحتكاك في حالة الاستقرار ، ناجمة ايضا عن نفس قوى الفعل المتبادل بين الجزيئات ، مثل المرونة العادية .

واذا زدنا ميل المنضدة اخيرا ، سيبدأ الكتاب بالانزلاق . ومن الواضح انه في هذه الحالة ، يبدأ « فصل » النتوءات وانقطاع الاربطة الجزيئية غير القادرة على تحمل الحمل المتزايد . وقوة الاحتكاك تبقى مؤثرة كالسابق ، ولكنها ستكون هذه المرة قوة احتكاك الانزلاق (Sliding friction) . وليس من الصعب اكتشاف « قص » النتوءات : ان نتيجة مثل هذا « القص » هو بلى الاجزاء الاحتكاكية .

ويبدو في الظاهر ، انه كلما زاد صقل السطح الخارجي ، كلما قلت قوة الاحتكاك . وهذا صحيح الى درجة معينة . ان تجليخ السطح يقلل مثلا قوة الاحتكاك بين قضيبين من الفولاذ . ولكن ليس بدون حدود ! وتبدأ قوة الاحتكاك بالزيادة فجأة عند الزيادة اللاحقة لنعومة السطح . وهذا غير متوقع ، لكنه مع ذلك قابل للتفسير .

وكلما زادت نعومة السطوح ، تبدأ الاجسام بالالتصاق مع بعضها البعض بصورة اوثق . ولكن طالما بقي ارتفاع النتوءات يزيد على عدة انصاف اقطار جزيئية ، لا يظهر أثر لقوى الفعل المتبادل

بين جزيئات السطوح المتجاورة . ان هذه القوى قصيرة المدى جدا . وعند وصول درجة التجليخ الى درجة معينة من الاتقان فقط ، تتقارب السطوح الى درجة كبيرة ، تجعل قوى التلاصق بين الجزيئات تشترك فى العملية ايضا . وتبدأ هذه القوى بعرقلة انحراف او انزلاق القضيبين بالنسبة لبعضهما البعض ، الامر الذى يؤمن وجود قوة الاحتكاك الاستاتى (Static friction) . وعند انزلاق القضبان الملساء ، تتقطع الاربطة الجزيئية الموجودة بين سطوحها ، مثلما تتقطع الاربطة داخل النتوءات بالذات ، فى السطوح الخشنة . ان انقطاع الاربطة الجزيئية ، هو الشيء الاساسي الذى يميز قوى الاحتكاك عن قوى المرونة ، التى لا تحدث مثل هذه التقطعات عند نشوئها . وبناء على ذلك ، نجد ان قوى الاحتكاك تعتمد على السرعة . وفى الكتب العلمية الخيالية العامة ، غالبا ما نجد صورة العالم بدون احتكاك . وبهذه الصورة يمكن ان نبين بشكل واضح جدا ، فوائد ومضار الاحتكاك على حد سواء . ولكن يجب ان لا ننسى بان القوى الكهربائية للفعل المتبادل بين الجزيئات ، هى اساس الاحتكاك . والقضاء على الاحتكاك ، يعنى فى الواقع القضاء على القوى الكهربائية ، وبالتالى الانحلال الحتمى التام للمادة .



الاحتكاك فى السوائل والغازات – عند حركة طبقتين متجاورتين من السوائل بالنسبة لبعضهما البعض ، يتكون بينهما اتصال او تماس مثالى ، لا يمكن وجوده فى حالة تماس سطوح الاجسام الصلبة ، مهما اتقنت درجة تجليخها او صقلها . ان جزيئات اسرع الطبقات حركة ، تجر وراءها جزيئات الطبقة البطيئة ، وذلك لان الجاذبية الجزيئية تؤثر فيما بينها ، وهى بدورها تفرمل حركتها بها . وهذا هو سبب اللزوجة او الاحتكاك الداخلى فى السوائل .

وبسبب سيوبة السائل ، لا يحصل هنا انقطاع كافة الاربطة الجزيئية ، كما فى حالة انزلاق سطوح الاجسام الصلبة . و « يقفز » قسم من الجزيئات فى اتجاه تأثير القوى الجزيئية . ان قيمة الاحتكاك ، تتناسب عكسيا مع سيوبة السائل ، وتقل كثيرا عن قيمة الاحتكاك الجاف ، عندما تكون السرعة النسية لطبقات السائل ، ليست كبيرة جدا* .

وفى الغازات ، تكون المسافة المتوسطة (معدل المسافة) بين الجزيئات ، كبيرة للغاية ، بحيث لا يمكن للجاذبية الجزيئية ان تؤدى الى ظهور الاحتكاك بين طبقات الغاز ، المتحركة بالنسبة لبعضها البعض . ولو ان الجزيئات لا تطير خارج حدود هذه الطبقات ، لما وجد الاحتكاك بتاتا . ولكن الحركة الحرارية تقذف الجزيئات خارج حدود الطبقات . وعند انتقال الجزيئات من طبقة سريعة الحركة الى طبقة بطيئة ، تعمل الجزيئات عند تصادمها على تعجيل حركة هذه الطبقة ، اما جزيئات الطبقة البطيئة ، فعندما

---

* يجب ان نلاحظ هنا بان العمليات الفيزيائية فى حالتى الاحتكاك الجاف والاحتكاك السائل ، معقدة للغاية ، ولا توجد لحد الآن اية نظرية كمية مقبولة لهذه الظواهر .

تتوغل في الطبقة السريعة ، تؤدى الى فرملة حركتها . وظهور التسارع او التعجيل ، يعنى ظهور القوى . ولكن قوى الاحتكاك في الغازات ، اقل مما هى عليه فى السوائل بمئات المرات .

قوى عضلاتنا — ان الجاذبية تشدنا الى الارض باستمرار ، وقوى المرونة تثبتنا على سطحها . اما الاحتكاك فيساعدنا على التحرك بحرية . والشد السطحى يساعدنا على العيش . كل ذلك ، هو عبارة عن قوى الطبيعة الجامدة . ويمكننا التحكم فى اكثر هذه القوى . ولكننا نستطيع ذلك لسبب واحد فقط ، هو اننا نتمتع بقوى تخضع دون اعتراض لارادة العقل بدون اى وسطاء ميكانيكيين . انها قوة عضلاتنا .

والعضلة — هى احدى اروع « الآليات » التى خلقتها الطبيعة . وقبل كل شيء هى اكثر مكنة اقتصادية تستخدم بصورة فعالة حوالى ٤٥ ٪ من تلك الطاقة الكيميائية التى تستهلكها . ولعضلات السلحفاة معامل كفاية يصل الى ٨٠ ٪ . هذا مع العلم بان معامل كفاية احسن تربينة بخارية لا يزيد على ٤٠ ٪ .

ان القوة التى تنتجها العضلة تستحق كل التقدير . ان كل انسان يتمكن من الوقوف على قدم واحدة ، حتى لو كان يحمل شيئا ما . وهذا يعنى ان العضلة ذات البطن ، قادرة على رفع حوالى ١٠٠ كجم من الحمل . ولو اخذنا فى الاعتبار ان القدم عبارة عن عتلة وان العضلة متصلة بالذراع القصيرة لهذه العتلة ، فسوف نحصل عندئذ على رقم اكبر من ذلك بكثير ، يبلغ طنا واحدا تقريبا . كل ذلك مشروط بان الانسان لا يستطيع بارادته ان يجعل عضلته تتقلص الى اقصى حد ممكن . ولو اختل تنظيم الجهاز العصبى لحركة العضلة ، وتمكنت العضلة من تحرير كامل قوتها او طاقتها ،



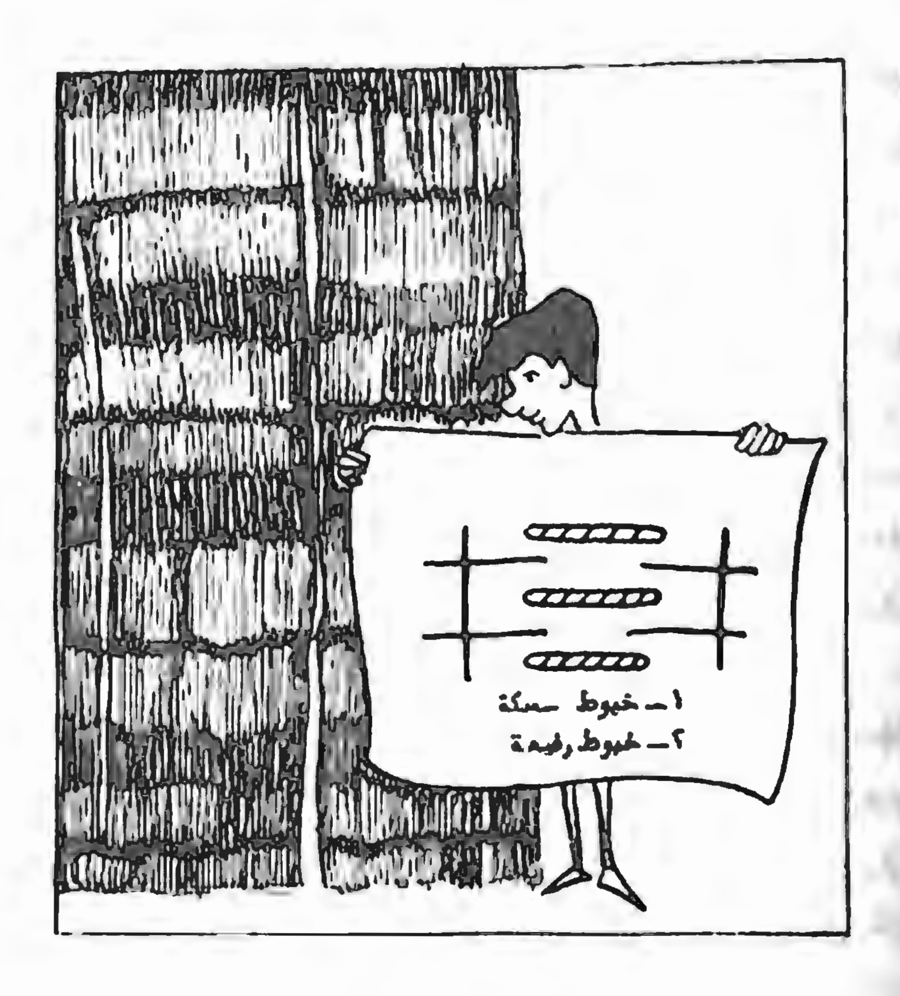
لاستطاعت فى هذه الحالة ان تقطع قسما من العظم الملتصقة به .

ان قدرة العضلة على العمل ، مدهشة للغاية ! وعضلة القلب مثلا، تعمل ليل نهار باستمرار دون تصليح او صيانة على امتداد عشرات عديدة من السنين . وليست هناك لحد الآن اية مكنة او آلة اخترعها الانسان ، قادرة على القيام بهذا العمل . وفى الوقت الحاضر تم الحصول على عدة نماذج للقلب الاصطناعى ويجرى العمل فى هذا المجال بصورة دائبة .

وتعتبر التحولات الكيميائية المعقدة فى داخل الخلايا الحية ، أساسا لفعالية ونشاط العضلة . وسوف نتحدث ليس عن كافة

المسائل الناجمة هنا ، التي يمكن القول بالمناسبة ، انها لا تزال غير محلولة من حيث الاساس حتى يومنا هذا ، بغض النظر عن الانجازات العظيمة في هذا المجال : في السنوات الاخيرة حصل اربعة علماء على جائزة نوبل ، لقاء ابحاثهم المتعلقة بايضاح طبيعة كيمياء العضلات . وسوف نتحدث هنا عن شيء واحد فقط ، هو كيفية نشوء قوة العضلة ، وما الذي يجعل العضلة تتقلص . عندما نقطع لحمة البفتيك المقلية بالسكين ، نرى بان العضلة تتكون من عدة الياف . وتحت الميكروسكوب نرى بوضوح آلاف الألياف العضلية ــ على هيئة اسطوانات طويلة ، مرتبة في صفوف منتظمة . ان كل ليف من الالياف ، ليس خلية واحدة ؛ بل هو خلايا كثيرة جدا ، مع سيتوبلازم متحدد ونويات منفردة . والالياف هي عبارة عن عصيات طويلة ــ غصيات مركبة من حزم من الجزيئات البروتينية او الزلالية ــ وهي مادة البناء الاساسية للانسجة الحية . وقد بينت الابحاث التي اجريت بواسطة الميكروسكوب الالكتروني ، ان كل ليف يتألف بدوره من عدد من الالياف الاكثر دقة ، يتراوح بين ١٠٠٠ ــ ٢٠٠٠ ، وتسمى الليفات العضلية (Myofibrillas) . وكل لييفة عضلية تتألف بدورها من خيوط بروتينية او زلالية سميكة ورفيعة . ان الخيوط السميكة مؤلفة من بروتين الميوسين ، اما الخيوط الرفيعة فهي مؤلفة من زلال الاكتين . ويبين الشكل هنا ، صورة ميكروسكوبية الكترونية لليفات العضلية .

والحواجز السوداء (المسماة بخطوط ــ z) تقسم اللييفة العضلية الى اقسام مستقلة ــ سركوميرات (اى شدفات اللييفات العضلية) . ومخطط السركومير مبين ايضا في نفس الشكل السابق . ان خيوط



الاكتين الرفيعة مثبتة فى خطوط ــ z ، اما الخيوط السميكة فتقع فى وسط السركومير .

ويتألف كل خيط سميك ، من خيوط ميوسينية رفيعة طويلة الاتجاه ــ « اذناب » ــ تحتوى على مواضع سميكة ــ « رؤوس » ــ فى اطرافها ، ويتراوح عدد هذه الخيوط بين ١٨٠ ــ ٣٦٠ خيطا . « والاذناب » مرتبة فى الخيوط بصورة موازية لبعضها البعض ، اما « الرؤوس » فتبرز فى كافة اتجاهات الخيط السميك . ويمكن ان تلامس « الرؤوس » الخيوط الاكتينية ، مكونة بذلك بعض الجسور الصغيرة بين الخيوط الميوسينية والخيوط الاكتينية .

وعند تقلص العضلة ، تتحرك خطوط ـ z لمقابلة بعضها البعض ، وتنزلق الخيوط الاكتينية الرفيعة بين الخيوط الميوسينية السميكة . وفي ذلك يتمثل النموذج المنزلق او الانزلاقي للعضلات ، الموضوع استنادا الى التجربة الدقيقة .

وتتلخص الصعوبة الاساسية في ايضاح نوعية الآلية التي تؤدي الى انزلاق الخيوط الرفيعة والخيوط السميكة بالنسبة لبعضها البعض . ولحد الآن لا توجد اية نظرية مقبولة لدى الجميع في هذه الصدد . وربما كانت اهم نظرية هنا ، هي النظرية التي اقترحها منذ مدة قصيرة جدا ، العالم الفيزيائي النظري السوفييتي أ. دافيدوف . وسوف نتحدث الآن باختصار عن هذه النظرية .

ان « ذنب » جزيء الميوسين هو عبارة عن حلزون . والشكل الحلزوني للجزيء ، يحافظ على بقائه بواسطة الاربطة الهيدروجينية الموجودة بين مجموعات ذرات الاميدات المتجاورة . وتوجد في الجزيء الواحد ، ثلاث سلاسل خطية من هذا النوع من الاربطة . واستنادا الى آراء أ. دافيدوف ، يمكن ان تنتشر على امتداد كل سلسلة اضطرابات طولية . والقوى المؤثرة بين اللفات المتجاورة ، تكون غير خطية ، وذلك لان تغيرات المسافات بين اللفات الحلزونية تحرض على تغيرات العزوم الكهربائية للجزيئات ذات القطبين لمجموعات الذرات المتبادلة الفعل . وبفضل هذه اللاخطية على امتداد سلسلة الاربطة الهيدروجينية ، يمكن خروج نبضة الانضغاط (او الشد) دون تغيير شكلها الخارجي . ان مثل هذه النبضات معروفة منذ زمن بعيد في النظرية اللاخطية للذبذبات ، وتسمى بالسوليتونات . وعلى وجه الخصوص ، نجد ان موجات التسيونامي (Tsunami)

الناشئة فى المحيطات عند الانفجارات الجوفية للبراكين او الهزات الارضية ، تعتبر ايضا بمثابة سوليتوتات .

وقد اثبت أ . دافيدوف انه بفضل اربطة القوى ، يمكن انتشار السوليتونات فى نفس الوقت ، على امتداد سلسلتين فقط من ثلاث سلاسل من الاربطة الهيدروجينية . ونتيجة لذلك ، ينحنى جزىء الميوسين ويتحرك هذا الانحناء بمحاذاة الجزىء بسرعة السوليتون . و « رؤوس » جزيئات الميوسين ، تلامس عندئذ خيوط الاكتين مكونة بذلك جسورا صغيرة . ومن جهة الجسور الصغيرة ، تؤثر قوة معينة على خيوط الاكتين المثبتة فى حواجز — z . وهذا نوع معين من انواع القوة الكيميائية (وبالتالى القوة المغنطيسية الكهربائية) . ويمكن اعتبارها مماثلة لقوة الاحتكاك . واستنادا الى قانون نيوتن الثالث ، تؤثر على الخط السميك من ناحية الجسر الصغير ، قوة متجهة عكس اتجاه حركة السوليتونات . وبسبب ذلك ، يتحرك خيط الميوسين بين خيوط الاكتين مثل الحية ، التى تزحف عبر الماسورة .

ان انزلاق الخيوط بالنسبة لبعضها البعض ، هو الذى يؤدى الى تقلص العضلة .

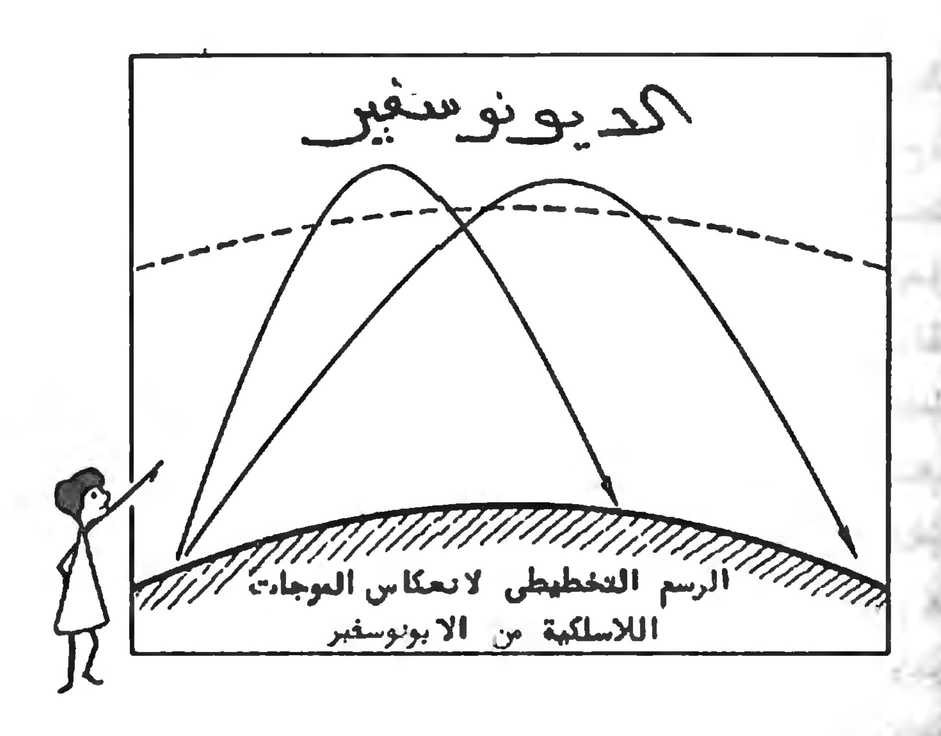
ولكن كيف تؤدى رغبتنا فى تقليب صفحة الكتاب فى نهاية الامر ، الى نشوء حركة السوليتونات فى الخيوط الميوسينية ؟ ان الاجابة على هذا السؤال غير موجودة فى كتابنا هذا . وهى غير موجودة بعد فى اى كتاب آخر . ان السلسلة المعقدة للعمليات الجارية هنا ، لم تبحث بعد بحثا وافيا من كافة نواحيها .

٤ — الجسيمات المشحونة فوقنا وحولنا

ان الحالة الطبيعية للاجسام على سطح الارض — للذرات والجزيئات وكذلك للقطع الكبيرة للمادة على حد سواء — هى عبارة عن تعادل كهربائى . ولكننا لو شحنا المكشاف الكهربائى ، فسوف يفقد كل شحنته الكهربائية بعد مدة من الزمن ، مهما كانت درجة عزله متقنة ، الى ابعد الحدود . وهذا يعنى وجود عدد كبير من الجسيمات المشحونة ، فى الهواء المحيط بنا — ايونات وذرات غبار مشحونة . ان كرة المكشاف الكهربائى « تمتص » الى داخلها من الجو، ايونات متعاكسة العلامة وتصبح جسما متعادلا .

وفى طبقات الجو العليا فوقنا ، تنتشر طبقة سميكة من الغاز المؤين بشدة او الشديد التأيّن — الايونوسفير (الغلاف الجوى المتأين) . وتبدأ من عدة عشرات من الكيلومترات من سطح الارض ويصل ارتفاعها الى ٤٠٠ كم . ولا يمكن ان يكتشفها المكشاف الكهربائى . ولاكتشاف الايونوسفير ، دعت الضرورة الى اختراع الراديو . ان طبقة الغاز الشديد التأين ، توصل التيار الكهربائى جيدا ، وهى مثل السطح المعدنى تعكس الموجات اللاسلكية ، ذات الاطوال الموجية التى تزيد على ٣٠ م . ولولا وجود « المرآة » الايونوسفيرية حول الارض ، لكانت الاتصالات اللاسلكية على الموجات القصيرة ، ممكنة فى حدود الرؤية المستقيمة او المباشرة فقط .

ثلاثة موّردين — وهكذا فان الايونات موجودة حولنا وفوقنا . ولكنها غير ازلية الوجود . وهنا يكفى ان تلتقى فجأة ايونات ذات علامة مختلفة ، حتى ينتفى وجودها فى الحال وتزول تماما .



وهذا يعنى انه يجب ان توجد فى الطبيعة ، عمليات معينة مستمرة التأثير ، تورد او تنتج الايونات .

وتوجد ثلاثة مصادر لتوريد الايونات . بالقرب من سطح الارض — اشعاعات العناصر المشعة ، الموجودة فى قشرة الارض بكميات قليلة . على ارتفاعات كبيرة — اشعة الشمس فوق البنفسجية . واخيرا تخترق طبقات الجو برمتها من الاعلى الى الاسفل ، جسيمات مشحونة سريعة الحركة للغاية — هى الاشعة الكونية . وهناك قسم صغير من هذه الاشعة يأتى من الشمس ، اما البقية فتأتى من اعماق الفضاء الكونى لمجرّتنا . واحيانا تنبعث من سطح الشمس تيارات قوية للغاية من الجسيمات المشحونة . وعلى ارتفاع عدة مئات من الكيلومترات عن سطح الارض ، تقوم مجالاتها المغنطيسية الكهربائية بتحفيز الذرات وارغامها على اشعاع الضوء . عندئذ نرى الشفق القطبى . وتتجول على الاغلب عند خطوط العرض العليا ،

ونجد ان سكان المناطق المعتدلة لا يملون مطلقا من التمتع بالجمال الرائع لاعمدة الضوء المتراقصة ، الملونة بكافة الوان قوس قزح .

الصاعقة ــ ان الكل يعرف تفريغ الرعد . ونجد ان التراكمات الهائلة للكهرباء المتساوية العلامة في الغيوم ، تولد شرارة يصل طولها احيانا الى عشرات الكيلومترات . وعندما تغير الصاعقة طريقها بصورة نزوانية ، تبعا لموصلية الهواء ، فهي غالبا ما تحدث تأثيرات مدهشة . واعجب هذه التأثيرات ، مشروحة في كتاب « الجو » للعالم الفلكي الفرنسي فلامار يون . وقد جاء في ذلك الكتاب ما يلي : « لا توجد اية مسرحية او اية ملاعيب سحرية يمكن ان تقارن مع الصاعقة من حيث تأثيراتها غير المتوقعة والغريبة . وتبدو كانها مادة ما خاصة ، متوسطة بشكل ما ، بين قوى الطبيعة اللاواعية وروح الانسان الواعية . وهي ــ عبارة عن روح رقيقة ونزوانية ، مراوغة وبليدة ، وفي نفس الوقت مستبصرة أو عمياء ، ذات ارادة او بلا ارادة ، تنتقل من تطرف الى آخر ، رهيبة وغير مفهومة . ولا يمكن الاتفاق معها ، ولا يمكن فهمها . انها تؤثر فحسب . وتأثيراتها بلاشك تشبه تأثيراتنا ، لكنها تبدو نزوانية فقط ، اما في الواقع فهي خاضعة لقوانين معينة ثابتة . ولكننا لحد الآن لم نتمكن من ادراك هذه القوانين . وهي هنا تردي الانسان قتيلا وتحرقه ، ليس مع الرحمة فقط ، بل انها حتى لا تلمس ملابسه ، التي تبقى كما كانت عليه دون تغيير . وفي موضع آخر نجدها تعرّي الانسان من ملابسه تماما ، دون ان تعرضه لأي اذى او اى خدش مهما كان بسيطا . وفي مكان آخر ، نجدها تسرق النقود دون ان تلحق الضرر بالمحفظة او الجيب . وتارة تنزع الطلاء الذهبي من الثرية وتنقله الى ملاط الجدران ، وتارة اخرى تنزع حذاء عابر

السبيل وتقذفه الى مسافة عشرة امتار عنه ، واخيرا في احدى القرى ، تثقب رزمة من الصحون من وسطها ، كل صحنين بالتناوب بعد صحنين آخرين ... وهكذا دون اى نظام ثابت في تصرفها ... ».
وبعد ذلك يذكر المؤلف حوالى مائة حالة مختلفة .

وعلى سبيل المثال : « داهمت الصاعقة رجلا كث الشعر جدا ، فحلقت شعره على هيئة شرائط على امتداد جسمه برمته ، ولفت الشعر على هيئة كبّات صغيرة وحشرتها في طبقات العضلات » . او مثال آخر : « في صيف عام ١٨٦٥ عاد الطبيب دريندينجير الذى يعيش في ضواحي مدينة فينا ، الى منزله بالقطار . وعند خروجه من عربة القطار ، تفقد حافظة نقوده فلم يجدها ، لقد سرقت منه .

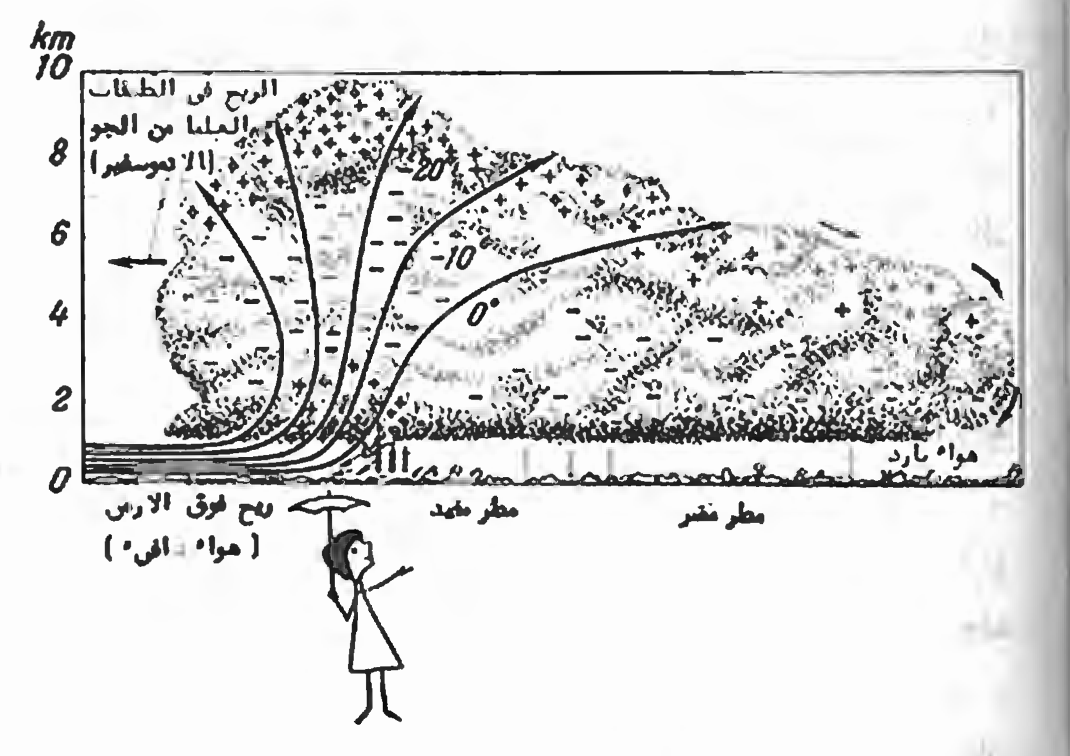
لقد كانت حافظة نقوده مصنوعة من جلد السلحفاة ، وقد ثبتت على احد اغلفتها طرة فولاذية مرصعة تشير الى اسم الطبيب المذكور : حرفان (د) متقاطعان مع بعضهما البعض .

وبعد مرور مدة من الزمن ، استدعى الطبيب المذكور لمعاينة احد الاجانب الذى « قتلته » الصاعقة ، وعثر عليه فاقد الوعي تحت الشجرة . وأول ما لاحظه الطبيب على فخذ المريض ، هو طرته الخاصة باسمه وكأنها قد صوّرت للتو . ويمكننا تصور مدى دهشته ! وقد عاد المريض الى وعيه بعد ذلك ، ونقل الى احدى المستشفيات . وهناك اعلن الطبيب ان محفظة نقوده المصنوعة من جلد السلحفاة ، يجب ان تكون في احد جيوب المريض، وقد اصبح ذلك واضحا تماما . فقد كان الشخص هو اللص بعينه ، الذى سرق محفظة نقود الطبيب ، وقد طمغته الكهرباء عندما اذابت الطرة الفولاذية التي تحمل اسم الطبيب » .

ومن الطريف ان عدد النساء القتيلات فى احصائية فلاماريون ، يقل بثلاث مرات تقريبا عن عدد الرجال . وهذا بطبيعة الحال لا يعود الى ظرافة الصاعقة ، ولكن بكل بساطة الى ان الرجال فى فرنسا (فى بداية القرن العشرين) كانوا يخرجون الى العمل فى الحقول ، باعداد تزيد على اعداد النساء . وقد جاء فى احدى الصحف الامريكية منذ مدة قريبة ، نبأ عن حالة جديرة بفلاماريون . لقد اصابت الصاعقة احدى المبردات المنزلية وحمصت فى داخلة دجاجة ، وقد عادت الدجاجة الى التجمد من جديد بسهولة ، وذلك لان المبردة بقيت صالحة للعمل دون ان تصاب بعطل .

ويمكن بطبيعة الحال ان نشك فى صحة كافة الحوادث المذكورة اعلاه ، ولكن لا يجوز عدم الموافقة على ان الصاعقة قادرة بالفعل على خلق العجائب . وليس فى المستطاع دائما تفسير اسباب تلك الحوادث . ان التفريغ لا يستمر سوى جزء من مائة الف جزء من الثانية ، ولا يمكن ان يكون هناك اى استعداد مسبق بتاتا لمراقبة هذا التفريغ . كما لا يمكن اعادة الحادثة من جديد بعد ذلك : اذ لا يمكننا ان نخلق نفس الصاعقة بالذات ، بغض النظر عن الظروف الاخرى .

ولكن من حيث المبدأ ليس كل شىء غامضا الى هذه الدرجة كما بدا للاستاذ فلاماريون . وفى نهاية المطاف يتحول كل شىء الى التأثير العادى للتيار ، مثل التسخين ، المجال المغنطيسى الكهربائى والتفاعلات الكيميائية . ولكن هذا التيار هائل جدا ، اذ يبلغ عشرات او مئات الالوف من الامبيرات . والامر الاساسى هنا ، ليس فى بحث الاهواء المتقلبة التى لا تحصى . اذ يجب ان ندرك الطريقة التى تتركم بها الشحنة الكهربائية فى السحابة



الرعدية . ما الذى يسبب كهربة قطرات الماء ، وما السبب الذى جعل الشحنات المتعاكسة العلامة ، تنفصل فراغيا فى داخل السحابة ؟ وهنا ليس كل شىء واضحا حتى النهاية .

قبل كل شىء ، لا توجد اية آلية موحدة لشحن القطرات . ان عدة آليات من هذا النوع معروفة لدينا بصورة اكيدة ، ومن الصعب ان تعرف ما هى الآلية التى تلعب الدور الاساسى . واليكم النوعان التاليان من هذه الآليات . فى المجال الكهربائى للارض (لقد ذكرنا سابقا بان الارض مشحونة بشحنة سالبة) تستقطب قطرات الماء . وفى الجزء السفلى من القطرة تتجمع الشحنة الموجبة ، اما فى الجزء العلوى فتتجمع الشحنة السالبة . والقطرة الكبيرة عند سقوطها الى الارض ، تأخذ معها على الاغلب ايونات الهواء السالبة ، وتكتسب شحنة كهربائية . وتنطلق الايونات الموجبة الى الاعلى ، محمولة بتيار الهواء الصاعد .

والآلية الثانية – هي شحن القطرات اثناء تفتتها بتيارات الهواء المتعاكسة . ان الرذاذ الناعم يشحن بشحنة سالبة ويصعد الى الاعلى ، اما الرذاذ الخشن ، المشحون بشحنة موجبة ، فيهبط الى الاسفل .

وكلتا الآليتان ، تؤمنان كلا من شحن القطرات والانفصال الفراغي للشحنات المتعاكسة العلامة في داخل السحابة او الغيمة . وعادة تتجمع الشحنة السالبة في القسم السفلى من السحابة الرعدية (باستثناء منطقة صغيرة موجبة الشحنة) . اما الشحنة الموجبة فتتجمع في القسم العلوى .

والامر اسوأ من ذلك كثيرا بالنسبة لتفسير الصاعقة الكروية ، التى تظهر احيانا بعد التفريغ الحاد للصاعقة الخطية . وتكون هذه عادة ، عبارة عن كرة مضيئة يتراوح قطرها بين ١٠ – ٢٠ سم . وهى كثيرا ما تذكرنا « بقطيطة متوسطة الحجم ، متكورة على شكل كبة ، ومتدحرجة بدون استخدام ارجلها » . اما فيما يتعلق بالاشياء الاخرى ، فان الصاعقة الكروية يمكن ان تنفجر وتحدث اضرارا بالغة فيها .

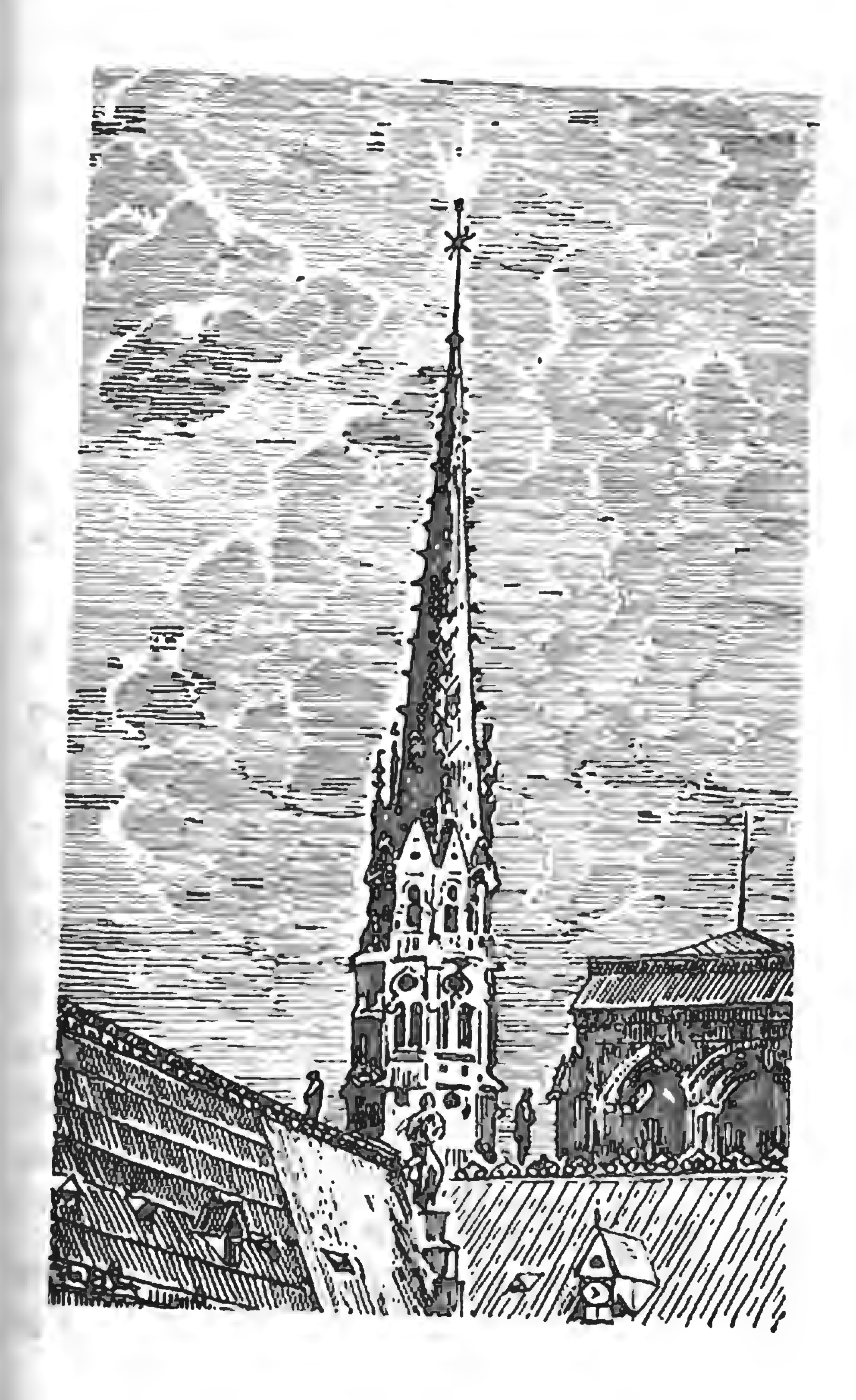
وربما تكون الصاعقة الكروية ، هى الظاهرة الماكروسكوبية (المرئية) الوحيدة على سطح الارض ، التى لا يوجد لها لحد الآن اى تفسير علمي صحيح . ولا يمكن الحصول فى المختبرات على شحنة كروية الشكل . وفى هذه المسألة يتلخص الامر برمته .

اضواء القديس « إلمو » – كثيرا ما نلاحظ قبيل حدوث الرعد او اثناء حدوثه ، اضوية متألقة على هيئة مخاريط تشبه الفرشاة ، تنبعث من الاطراف المسننة للاشياء العالية الارتفاع . ان هذا التفريغ الكهربائى البطىء الذى يحدث بسلام ، يسمى منذ قديم الزمان باضواء القديس (إلمو) . وقد ذكر فى احد الكتب القديمة ،

انه عندما كان اسطول ليزاندر يخرج من الميناء لكى يهاجم سكان اثينا ، كانت تلتمع الاضواء على صوارى شرفة الاميرال . وقد اعتبر الاقدمون ظهور هذه الاضواء ، اى اضواء القديس إلمو ، فالا حسنا . وغالبا ما يكون متسلقو الجبال ، شهود عيان لهذه الظاهرة فى احيان كثيرة جدا . واحيانا نجد بانه ليس الاشياء المعدنية وحدها تتزوق بشرارات صغيرة مضيئة ، بل وكذلك نهايات الشعر على الرأس . ولو رفعنا اليد فى هذه الحالة ، فسوف نشعر من طبيعة اللفح ، كيف يخرج التيار الكهربائى من اصابع اليد . وفى احيان كثيرة نشعر بطنين مخارز تكسير الجليد ، الذى يشبه طنين النحلة الكبيرة .

ان اضواء القديس إلمو ، ما هى الا احد اشكال التفريغ الكهربائى الاولى ، الذى يمكن الحصول عليه بسهولة فى المختبر . والسحابة المشحونة ، تنتج بالحث على سطح الارض ، شحنات كهربائية متعاكسة العلامة تحتها مباشرة . والشحنة الكبيرة للغاية ، تتركز على الحافات الحادة . وعندما تصل شدة التيار الكهربائى الى قيمة حرجة تساوى ٣٠٠٠٠ فلط/سم ، تبدأ عملية التفريغ الكهربائى . ان الالكترونات المتكونة بالقرب من الحافة الحادة او الرأس الحاد نتيجة للتأين الهوائى العادى ، تتسارع بتأثير المجال ، وبتصادمها مع الذرات والجزيئات ، تعمل على تحطيمها . وهنا يزداد عدد الالكترونات والايونات بشكل جارف ، ويبدأ الهواء بالتألق .

الشحنة الكهربائية للارض – ان السحابة الرعدية تحتفظ بشحنتها لمدة طويلة . وعند حدوث عدة رعدات – تتفرغ السحابة . ان شحنة الكرة الارضية تبقى ثابتة بدون تغيير ، اذا غضينا النظر



عن التراوحات الصغيرة . وعند سطح الارض ، لا يكون المجال الكهربائي صغيرا كما يبدو ، انه يساوى ١٣٠ فلط/م . وهذا الامر غريب جدا لاول وهلة . ان الهواء يوصل التيار الكهربائي بسبب وجود الايونات في الجو، وتشير الحسابات الى انه خلال نصف ساعة تقريبا ، يجب ان تتفرغ الارض كليا . ولهذا السبب فان الصعوبة الاساسية ، ليست في تفسير اصل او منشأ الشحنة ، بل في ادراك سبب عدم زوالها .

وهناك سببان يفسران اعادة تجدد شحنة الارض الكهربائية . السبب الاول هو الصعقة او تفريغ الصاعقة . يحدث على سطح الارض خلال اليوم الواحد فقط ، ما يزيد على اربعين الف رعدة ، وفي كل ثانية واحدة ، تصدر الارض حوالى ١٨٠٠ صاعقة . ان القسم السفلي من السحابة ، يحمل شحنة سالبة ، وبالتالى تكون ضربة الرعد او الرعدة — عبارة عن نقل جزء معيّن من الكهرباء السالبة الى الارض .

وفي نفس الوقت تنشأ اثناء الرعد ، تيارات كهربائية من الاشياء العديدة الحادة الرؤوس او الاطراف (اضواء القديس إلمو) تعمل على تفريغ الشحنة الموجبة من سطح الارض .

ومن الصعب هنا ان تكون اية موازنة ، ولكن يبدو بصورة عامة ، الاوضاع تتطابق مع بعضها البعض . ان فقد الشحنة السالبة من قبل اقسام سطح الارض التى تظللها السماء الصافية ، يعوّض عنه بتيار الشحنات السالبة في الاماكن التى تجتاحها الرعود .

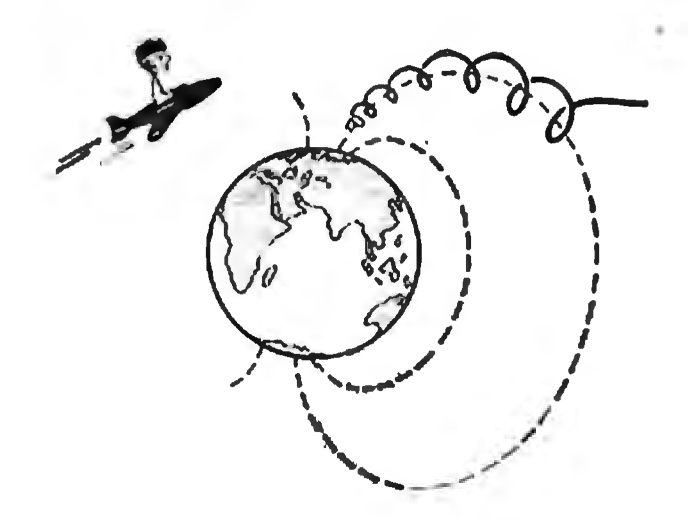
ولكن من اين اتت شحنة الارض ، ولماذا كانت سالبة ؟ يجب هنا ان نلجأ الى الحدس او التخمين . واستنادا الى آراء

فرينكل ، نشأت فى البداية شحنة صغيرة لاسباب طارئة بالصدفة . وبعد ذلك تطورت تلك الشحنة على حساب « آلية الرعد » التى تحدثنا عنها سابقا ، الى ان حدث توازن دينامى ، لا يزال باقيا الى يومنا هذا .

وكان من المحتمل ان تكون الشحنة فى البداية موجبة . عندئذ قطرات الماء فى السحابة الرعدية ، ستستقطب بشكل آخر ، وكانت الصاعقة فى هذه الحالة ستزود الارض بشحنة موجبة . وبصورة عامة كان كل شيء سيكون كما هو عليه الآن ، مع تغير ادوار الشحنات الموجبة والسالبة فقط .

المغنطيسية الارضية — ان المجال المغنطيسى للارض لفت انتباه الناس ، بمدة زمنية طويلة جدا قبل المجال الكهربائى . ويمكن اكتشافه ببساطة كبيرة للغاية ، ولكن دوره فى حياة كوكبنا ، لا يتلخص بتاتا فى مساعدة سكان الارض على تحديد طريقهم الصحيح فى المحيط اللانهائى او الغابة او الصحراء ، بواسطة البوصلة .

ولو كان المجال الكهربائى لا يخرج عمليا عن حدود طبقات الجو السفلى ، لامتد المجال المغنطيسى الى مسافة تتراوح بين ٢٠ — ٢٥ نصف قطر ارضى . وفقط على ارتفاع ١٠٠٠٠٠ كم ، يتوقف عن القيام بالدور الذى يلعبه على سطح الارض ، باقترابه من قيمة المجال الموجود فى الفراغ ما بين الكواكب . والمجال المغنطيسى يشكل « المنطقة المدرعة » الثالثة المحيطة بالارض ، الى جانب الطبقات الجوية والغلاف الجوى المتأين (الايونوسفير) . وهذا المجال لا يدع تيارات الجسيمات الفضائية تصل الى الارض ، عندما لا تكون طاقتها كبيرة للغاية . ولا تستطيع هذه الجسيمات



من التوغل الى طبقات الجو بدون عائق ، الا فى منطقة الاقطاب المغنطيسية .

وعلى ارتفاع كبير، يكون المجال المغنطيسى ليس كبيرا جدا ، ولكنه يشمل مناطق شاسعة من الفراغ . وبتأثيره فى الجسيمات المشحونة لمدة طويلة من الزمن ، فانه يغير مساره بشكل ملحوظ جدا . فبدلا من خط سيره المستقيم ، ينجم خط حلزونى ملفوف على خطوط قوى المجال بالذات . وعلى امتداد خطوط القوى يطرد المجال المغنطيسى تلك الجسيمات نحو القطبين . واحيانا فى الحقيقة ، عندما تكون سرعة الجسيمات كبيرة جدا ، لا يسعفها الوقت فى القيام حتى بلفة واحدة ، عندئذ لا يمكن الحديث الا عن انحراف او انحناء المسار .

واستنادا الى قانون امبير ، لا يؤثر المجال المغنطيسى على الجسيم المنطلق بمحاذاة خط القوى . وهذا هو السبب الذى جعل الجسيمات قادرة على الوصول بحرية الى القطبين ، اللذين تخرج منهما خطوط القوى على هيئة مروحة . وليس من المدهش ان تؤدى تيارات الاشعاعات الجسيمية الصادرة عن الشمس ، الى

الاضاءة الاشعاعية لطبقات الجو العليا ، عند منطقة القطبين على الاغلب .

وبالمناسبة نجد ان تيارات الدقائق هذه ، تولد بنفسها مجالات مغنطيسية كبيرة وتؤدى الى حدوث « عواصف مغنطيسية » تبدأ خلالها ابرة البوصلة بالتحرك السريع .

ان الاحزمة الاشعاعية للكرة الارضية ، التى اكتشفت منذ مدة ليست بعيدة نسبيا ، بواسطة الصواريخ الفضائية — ما هى الا جسيمات مشحونة ذات طاقات ليست كبيرة جدا ، وقعت فى مصيدة مغنطيسية نصبتها لها الكرة الارضية . ان المجال المغنطيسى بالذات ، هو الذى يحتجز على ارتفاعات كبيرة ، سيول الجسيمات المشحونة ، مثل الهالات التى تحيط بالارض . وفى الحزام الخارجى تسود الالكترونات ، اما فى الحزام الداخلى ، حيث تكون شدة المجال اكبر ، فتسود البروتونات . وهذه الاحزمة تشكل خطرا حقيقيا على حياة رواد الفضاء الذين يحلقون على ارتفاعات عالية جدا .

الكرة الارضية هى مولد كهربائى كروى — ان مسألة نشوء أو أصل المغنطيسية الارضية ، هى مسألة اكثر تعقيدا من مسألة نشوء المجال الكهربائى . ولا يمكن تفسيرها بتراكم الصخور الممغنطة . ان فكرة فرينكل الطريفة ، تساعدنا كما يظهر على فهم شىء ما فى هذه الحالة . وقلب الارض — هو عبارة عن مولد للتيار الكهربائى ، يعمل وفقا لمبدأ الاضطراب الذاتى ، مثل المولد الكهربائى العادى .

ولعله ليس من الصعب على القارىء ان يتذكر ماهية هذا المبدأ . ان التيار الكهربائى ينشأ فى المولدات اثناء حركة الموصّلات

فى المجال المغنطيسى ، الذى يتولد بالذات من هذا التيار الكهربائى نفسه . واذا لم يكن التيار موجودا فى البداية ، فانه عند سرعة دوران معيّنة ، ينشأ فى الحال ويتطور فيما بعد . ذلك لانه يوجد دائما مجال متبقى صغير . وهذا بدوره يولد تيارا يعمل على زيادة المجال المغنطيسى قليلا . ونتيجة لذلك ، يزداد التيار ثم يزداد المجال المغنطيسى وهلم جرا ، الى حد الوصول الى القيمة القصوى المعينة .

ولكى نستطيع تشبيه الكرة الارضية بالمولد الكهربائى ، يجب قبل كل شيء ان نفترض بان قلب الارض سائل وقابل لتوصيل التيار الكهربائى . وليس فى هذه الفرضية اى شيء مستبعد او مستحيل . ولكن من اين تأتى حركات كتل القلب الموصلة ؟ اننا فى المولد الكهربائى ندوّر ببساطة عضو الانتاج ، اما فى قلب الارض فلا توجد اية مؤثرات خارجية . ولكن يمكن العثور على حل فى هذه الحالة ايضا . وهنا بنتيجة الانحلال الاشعاعى للعناصر غير الثابتة ، يجب ان تكون درجة الحرارة فى مركز القلب ، اعلى قليلا مما هى عليه فى اطرافه . ونتيجة لذلك ، ينشأ الحمل (Convection) : تحاول الكتل الاكثر سخونة فى مركز القلب ، الصعود الى الاعلى ، بينما تهبط الكتل الباردة الى الاسفل . ولكن الارض تدور باستمرار وسرعة الكتل فى اعلى القلب اكبر من سرعة الكتل التى فى مركزه . ولهذا السبب نجد ان عناصر السائل المرتفعة الى الاعلى ، تفرمل او تعرقل دوران الكتل الخارجية للقلب ، اما الكتل الهابطة فهى على العكس من ذلك تعجل حركة الطبقات او الكتل الداخلية . ونتيجة لذلك ، يدور القسم الداخلى من القلب ، اسرع من دوران القسم الداخلى ويلعب دور العضو الدوار للمولد ، فى الوقت الذى يلعب فيه القسم الخارجى دور

مبدئ الحركة (Starter) . فى مثل هذا النظام ، تبيّن الحسابات انه يمكن حدوث اضطراب ذاتى وظهور تيارات كهربائية دوامية ، ذات قيمة كبيرة .

واستنادا الى نظرية فرينكل ، تقوم هذه التيارات الكهربائية بتوليد مجال مغنطيسي حول الارض ، والطاقة المستخدمة للمحافظة على التيار ، تأتى من التسخين الاشعاعى للمادة ، التى تخلق تيارات الحمل فى القلب .

ولكن هل ان الامر هو على هذه الشاكلة ، هذا ما يصعب التأكيد عليه حاليا . وعلى اية حال ، من الأصح ان نسمى الارض بـ « مولد كهربائى ضخم » من ان نسميها بـ « مغنطيس ضخم » كما نجد ذلك فى كثير من الكتب . ان المجال المغنطيسى لا يحيط بالارض فقط ، بل يمكن تواجده بالقرب من كواكب ونجوم اخرى ايضا . وهو « يضع بصماته » على الموجات الضوئية التى تشعها ذرات الشمس والنجوم ، وتعطى بذلك لعلماء الفيزياء ، امكانية اكتشافها .

وقد بينت قياسات العلماء السوفييت والاميركان ، ان القمر لا يحتوى على مجال مغنطيسى مثل مجال الارض . ولكن بعض الصخور القمرية المنفردة ، تعتبر ممغنطة بشكل ملموس . وكذلك لا يوجد مجال مغنطيسى فى كل من عطارد ، الزهرة والمريخ . ولكن المجال المغنطيسى لكوكب المشترى مثلا ، كبير جدا بما فيه الكفاية : اذ انه يزيد بمائة مرة تقريبا ، على المجال المغنطيسى للارض . اما عن المجالات المغنطيسية لكل من زحل ، اوران ، نبتون وبلوتون ، فلا احد يعرف عنها اى شىء لحد الآن .

الديناميكا الكهربائية الفضائية ـ بحديثنا عن المجالات المغنطيسية للكواكب والنجوم ، دخلنا دون ان نشعر فى حقل علمى جديد ، هو الديناميكا الكهربائية الفضائية . وهنا نجد ان الاشياء القليلة الصحة ، اقل بكثير جدا من الفرضيات المختلفة . ولكن كثيرا من الامور التى كانت بالامس مجرد حدس يثير الفضول ، اصبحت الآن حقائق ثابتة . والشيء الاساسى ، هو انه اتضح بان القوى المغنطيسية الكهربائية ، تلعب فى الفضاء الخارجى دورا ليس قليل الاهمية مطلقا ، كما كان يفترض سابقا .

سطح الشمس الصاخب وجوّها ... الالسنة العملاقة للمادة المتوهجة تخرج بسرعة الى الاعلى . دوامات واعاصير بحجم كرتنا الارضية . زوابع .. زوابع مستمرة لكنها من لهب ، زوابع براقة . ليست زوابع من المادة فقط ، بل زوابع من المجال المغنطيسى ايضا .

واحيانا تنطلق البقع السوداء من اعماق الشمس على هيئة ابخرة . والمجال المغنطيسى فى هذه الاقسام يزداد بآلاف المرات .

واحيانا تقوم القوى الهائلة بقذف خاثرات كاملة من الجسيمات المشحونة ، من الشمس الى الخارج . وبتغلب هذه الجسيمات المشحونة على قوة الجاذبية ، تطير بسرعة تعادل عدة آلاف الكيلومترات فى الثانية ، وتتوغل فى جو الارض .

ويصعب على علماء الفيزياء فى هذه الحالة ، ان يروا فى ذلك قانونا معينا او نظاما محددا من الانظمة . ومن الصعب ادراك طبيعة القوى الموجودة فى كتلة المادة الدوارة . ان هذا يحدث على مسافات بعيدة جدا ، ولا يشبه بتاتا الشيء الذى يمكن ان نشاهده على كوكبنا الارضى .

انه أمر صعب ولكن ليس بالمستحيل . وعند درجات الحرارة الهائلة ، الموجودة على سطح الشمس ، لا يمكن ان توجد اية ذرات متعادلة او اية جزيئات متعادلة . انها لا يمكن ان تسلم بكل بساطة ، كما لا يمكن ان يسلم القطار المنطلق باقصى سرعته عندما يصطدم بقطار آخر مقابل يسير على نفس الخط .

ومثل هذا الغاز المؤين تماما ، او البلازما المؤينة تماما ، كما يقول علماء الفيزياء ، تعتبر موصلة رائعة للتيار الكهربائي . وهذا يمكن القوى المغنطيسية الكهربائية من التطور السريع واظهار قوتها الضخمة فى ميدان جديد .

وفى المجال المغنطيسى الموجود داخل البلازما المتحركة العالية الحرارة ، تظهر تيارات كهربائية قليلة القيمة . ونتيجة للموصلية الجيدة ، فانها لا تميل الى الاضمحلال . ولهذا السبب ، الى جانب قوى المرونة العادية فى ذلك الوسط ، تكتسب قوى الفعل المتبادل المغنطيسى للتيارات ، اهمية لا تقل عن ذلك . واذا كانت حركة الوسط البسيط ، خاضعة لقوانين الهيدروديناميكا ، فسوف تكون الغلبة هنا للهيدروديناميكا المغنطيسية .

ولا زلنا بطبيعة الحال بعيدين جدا عن فهم كل ما يدور على سطح الشمس . ولكن توجد لدينا ثقة فى ان الظواهر الاساسية ابتداء من قذف كتل متكاملة من المادة وانتهاء بظهور البقع الشمسية (Sun spots) ، كلها مرتبطة بالافعال المتبادلة المغنطيسية .

وليس هذا وحده فحسب ! ان الغاز الموجود ما بين الكواكب ، شديد التأين بواسطة الاشعاع . وكثافته قليلة (جسيم واحد فى كل سنتمتر مكعب) ، ولكن هذا يعوض بالحجم الهائل للسحب ،

ولا يجوز ان نهمل دور التيارات الكهربائية ومن ثم المجالات المغنطيسية فيها .

ان السحب المتحركة تملاء بذاتها المجرة برمتها ، ولذلك تبدو جميعها مليئة بالمجال المغنطيسى . وحتى ليس المجرة وحدها فقط ، بل ومناطق الفضاء المجاورة لها ايضا .

ان المجالات المغنطيسية هنا ليست عظيمة جدا ، وليس باستطاعتنا ان ندركها بحواسنا . ولكننا نعرف انها موجودة . ولكن من اين نعرف ذلك ؟

اشعاع التردد اللاسلكى للمجرة والاشعة الكونية ـ لو تمكنا من روءية الموجات الاشعاعية او اللاسلكية ، لسطعت فى السماء اكثر من شمس واحدة وكان عددها ثلاث شموس كاملة (وبصورة ادق « شموس مشعة ») . الشمس الاولى فى برج الثريا ، الثانية فى برج البجعة ، والثالثة هى شمسنا التى نعرفها * . ولكن بالاضافة الى ذلك ، كنا سنلاحظ عددا كبيرا من « الشموس المشعة » الاقل تألقا ، و« ضوءا مشعا » ضعيف التشتت يأتى الينا من كافة نواحى المجرة ، وحتى الاماكن المجاورة لها التى كانت تبدو خالية .

ان قسما من الموجات الاشعاعية او اللاسلكية ينشأ عند تصادم الجسيمات المشحونة للغاز الملتهب . وهذا هو الاشعاع الحرارى (الفرملى) . وهو لا يمكن ان يعطينا اية فكرة عن المجالات المغنطيسية للمجرة . ولكن هناك قسما ثانيا غير حرارى ، يعتبر

---

* ان الشمس هى عبارة عن كوكب متقدم ، وقربها منا فقط هو الذى يساعدها على منافسة المصدرين الاولين المذكورين من حيث « التألق الاشعاعى » وهما اضخم قوة من الشمس بما لا يقاس .

المجال المغنطيسى مهدا له . وهو يغلف الالكترونات الكونية السريعة ، التى عند دورانها على خط حلزونى ، تشع موجات مغنطيسية كهربائية (اشعاع سنكروترونى) ، مثلما يعمل حجر المسن الدائر بسرعة على نثر الشرارات حوله ، عندما نقرب من سطحه نصل السكين . ويمكن التأكيد على الوجود الحتمى للمجال المغنطيسى ، فى المكان الذى تتولد فيه الموجات الاشعاعية (اللاسلكية) ! ولكن من اين تأتى الالكترونات السريعة فى الفضاء ؟ ان الاشعاع الترددى اللاسلكى يتولد منها ، وفى المكان الذى تتواجد فيه مصادر قوية جدا للموجات الاشعاعية اللاسلكية ، يجب البحث هناك عن المسارعات الكونية . وهذا يعنى ان تلك « الشموس المشعة » الضخمة البعيدة ، التى تحدثنا عنها سابقا ، هى التى تعتبر بصورة رئيسية ، بمثابة المسارعات الكونيّة هذه .

لقد تعودنا على رؤية اعماق السماء الصافية فى الليل . وليس هناك اى شىء اكثر ثباتا وأزلية من « الجوقة المتناسقة » لنجوم السماء وكواكبها . وهذه هى الحقيقة فى الواقع . ولكن تحدث احيانا كوارث معينة ، كوارث على نطاق كونى خالص . وفى هذه الحالات نجد مثلا ان الكوكب الذى عاش مليار سنة من حياته العادية ، يبدأ فجأة بالتضخم الرهيب لاسباب ليست مفهومة تماما . (لو حدث ذلك مع شمسنا * ، فسرعان ما تصبح مدارات كافة الكواكب فى داخل الشمس) . ان تألق او سطوع الكوكب (ويسمى بالمتجدد الاعظم) يزداد بمئات المليارات من المرات ،

---

* ان الشمس غير مهددة فعلا بمثل هذا الانفجار ، لان كتلتها صغيرة جدا نسبيا .

ويمكن مشاهدته فى السماء فى وضح النهار . ويقل السطوع تدريجيا ، وتبقى فى مكان الكوكب او النجم ، سحابة ضبابية ، يصعب تمييزها احيانا فى التلسكوب . وفى المجرة التى تضم مليارات الكواكب والنجوم ، يلاحظ مثل هذا الانفجار مرة واحدة فى كل ١٠٠ ــ ٢٠٠ سنة . ومنذ اختراع التلسكوب لحد الآن ، لم يظهر اى سطوع متجدد اعظم .

وهكذا نجد ان « الشمس المشعة » تتكون فى معظمها من بقايا الكواكب المتجددة العظمى . ولكن تلاحظ فى الكون آثار كوارث اعظم من ذلك ، تتمثل فى انفجار مجرات بكاملها او مراكزها . ان مثل هذه المجرات التى تشع كميات هائلة من الطاقة فى نطاق الموجات اللاسلكية ، سميت بالمجرات المشعة . واحدى هذه المجرات تقع فى اتجاه برج البجعة .

ويمكن ان نتصور بان التسارع الابتدائى للجسيمات المشحونة (الالكترونات ، البروتونات ، ونويات الذرات) ينجم عن موجة صدمية هائلة ، تصاحب انفجار الكوكب المتجدد الاعظم . وفيما بعد تبدأ بالتأثير القوى المغنطيسية الكهربائية . ان المجالات المغنطيسية المتطورة ، تولد المجال الكهربائى بالحث . وقد يكون هذا المجال ليس كبيرا جدا ، ولكن بسبب ابعاده الكونية ، يعمل على تعجيل بعض الجسيمات المستقلة الى حدود من الطاقة ، لا يمكن ان تصلها بعد كافة المسارعات التى اخترعها الانسان . والمصادر الاساسية للاشعة الكونية ، استنادا الى النظريات الحديثة ، هى انفجارات او اندلاعات الكواكب المتجددة العظمى .

ويأتى قسم معين من الاشعة الكونية ، من المجالات الحثية الكهربائية الاقل قوة ، التابعة للشمس وبقية الكواكب .

ان المجالات المغنطيسية غير المنتظمة للمجرة ، تبعثر الجسيمات الكونية . ونتيجة لذلك ، نراها تصل الى الارض بصورة منتظمة من كافة الاتجاهات ، وليس فقط من تلك الاماكن التى يحدث فيها تسارعها . والجسيمات العالية الطاقة ، تطير الينا على اغلب الظن ، من المجرات المجاورة .

ولا يمكننا التأكيد على ان كل شيء فى الكون يحدث هكذا ، تماما بالضبط كما تحدثنا عنه اعلاه الآن . وما هذا الا عبارة عن صورة اكثر واقعية تفسّر الظواهر المغنطيسية الكهربائية ، من وجهة النظر العلمية الحديثة . وهذه الصورة مرسومة كما يلاحظ القارىء ، بخطوط عريضة للغاية . وقد حصل ذلك ليس فقط لان الصورة هائلة للغاية ، ان تفاصيل الظواهر تبقى لحد الآن غير واضحة للعلماء الفنانين انفسهم . ولازالت « الاصباغ » لم تجف على الصورة بعد : لقد رسمت الصورة منذ مدة ليست بعيدة ، وتكاملها وحده هو الذى يبعث الامل فى انها صحيحة من حيث المبدأ او الاساس .

مناقشة جماعة المؤلفين — فى ذلك الوقت ، عندما كانت ظواهر الكون العظيمة تسترسل فى اللعب ، كانت التناقضات تمزق « مجموعة صغيرة متحابة » (هكذا كان يطلق المؤلفون على انفسهم) فى احدى شقق موسكو . فقد اصبح واضحا للمؤلفين ان مواقفهم لم تكن تتطابق تماما ، حتى تلك اللحظة التى كان العمل فيها على تأليف الكتاب قد سار بخطوات واسعة .

وجوهر النقاش ، كما يتبين مما هو آت ، يجيز لنا اختصار اسم احد المؤلفين كروتكوف بالحرف (ك) ، والآخر — ستروبتيفوف بالحرف (س) .



ك – انت تعرف ، كم احترمك ! ولكن ماذا تفعل ؟ فبدلا من ان تتحدث ، وبلا كلفة ، عن جوهر القوى ، تسجل مثل موظف ارشيف ، جميع مظاهر القوى المغنطيسية الكهربائية التي تعرفها بدقة متناهية مع تفصيلات غير ضرورية . بل وتفتش في الكتب عن وصف مظاهر القوى ، التي اعلمني ، لاتعرفها نهائيا .

أ هذا ما حلم به قراؤنا حين اقتنوا الكتاب ؟ ماذا تظن هل يحتاجون الى اى كتاب مدرسى آخر ؟

س – لاتؤاخذنى ، ولكن طالما لم يصادق بعد على الكتاب من قبل الوزارة فهو لا يعد كتابا مدرسيا . ولكن اضافة الى ذلك ألم نعد بالحديث عن القوى فى الطبيعة ؟ اى عن القوى التي تحيط بكل منا . لا يجوز ، لا يجوز باى شكل من الاشكال ان نتجاوز الاحتكاك ، والمرونة ، والقوى الكيميائية ، والخ . اننا نكتب ليس للفلاسفة الشباب ، الذين يتمنون معرفة اسس الاسس فقط ولا يهتمون بما يجرى من حولنا ومن فوقنا ومن تحتنا كل يوم .

ك – انا واثق ، فى ان لديك نوايا حسنة . ولكن اذا سرنا على طريقك يجب ، مثلا ، التكلم ليس عن الاحتكاك فقط في السوائل عموما ، بل عن احتكاك الكرية ، والاسطوانة ، والمكعب والخ . وعندها فان كل شيء سيكون مرتبا في صفوف . أنا ، طبعا ،

اغالى قليلا ، ولكن محاولة الترتيب فى صفوف ، موجودة لديك .
بلاشك .

س ـ اذن ماذا تقترح ، ان نتصرف وفق النكتة القديمة ، حيث ادهش تلميذ ، كان قد انهى دراسته ، والديه وجميع المحيطين به ، بالاختصار العلمى الشديد للاجوبة ؟ على جميع الاسئلة ـ ماذا ، كيف ، ولماذا ، كان يجيب باختصار ـ هذه كهرباء .
هل علينا ايضا كتابة : المرونة ـ هذه كهرباء ، الاحتكاك ـ ايضا كهرباء ، والقوى الكيميائية هى قوى كهربائية والخ .

ك ـ ولكن انظر ماذا نتج لديك . فهنا تركيب الغازات مع السوائل (المعروفة للجميع) كذلك خصائص القوى فى البلورات (المعروفة للقليل فقط ، والتى تعتبر غير شيقة تقريبا) ...
غير انك تريد الكتابة عنها ـ اكتب . ولكن اكتب بشكل لاينام معه القارىء او لا يطرح الكتاب الى مكان بعيد .

س ـ ولكن افهم ، ان هذا صعب ، بل صعب جدا . ان الكتابة مثلا عن النظرية النسبية ابسط واكثر متعة منها عن القوى الكيميائية . وعدا ذلك ، يجب ان نؤلف كتابا كاملا عن كل نوع من انواع القوى المغنطيسية الكهربائية ، راغبين عند ذلك الاختصار تجنبا للملل .

ك ـ ان الامتع ليس فقط الكتابة عن النظرية النسبية بل والقراءة عنها ايضا . من المؤلم ان افكر بشريكى فى التأليف بانه يسعى بوعى لكى يكون مملا . لماذا ؟ توجد فى نهاية الامر موسوعة يمكن فيها لكل فرد ان يطالع كل ما يهواه .

س ـ هيا اذن ، ليكن هذا القسم من الكتاب موسوعة ، ولكن

موسوعة على كل حال (اعلل نفسى بالامل) مكيفة ليس من اجل القراءة المنهكة للغاية .

ك ـ ارى انك تعاند . وعلاوة على ذلك يخلو حديثك من التسلسل البسيط . فبعد الاشعة الكونية تريد الانتقال مباشرة الى الاسماك الكهربائية .

س ـ ثم ماذا ؟ الاسماك ، هى اسماك ! ومن لايهتم بها يمكنه الا يقرأ .

وعلى العموم ، فان القارىء المعاصر فطن جدا ، وهو لن يقرأ الكتاب بتتابع ، اذا وجدت فيه مواضيع مملة . كذلك فانه لن يلقى به ، اذا كانت ثمة اماكن ممتعة . وفى اسوأ الاحتمالات دعه لا يقرأ هذا الفصل ابدا .

ك ـ ... وطالما انك عنيد لهذه الدرجة ، فانك لن تفعل شيئا .

س ـ لا تنفعل بهذه الصورة ، فهناك المحرر الذى سيقول : احذفو كل هذا ـ وسنحذفه .

الاسماك الكهربائية ـ وهكذا ، فالاسماك الكهربائية . هى مخلوقات فريدة ، تتميز عن غيرها ، بانها تحمل عناصر جلفانية . التيار الكهربائى الناجم عنها يستخدم كوسيلة للدفاع او الهجوم . ومن العجيب ، ان عدد الاسماك الكهربائية المتحجرة ، اكثر من عدد التى مازالت على قيد الحياة حتى الآن . يبدو ان الاستعمال الظاهر للقوى المغنطيسية الكهربائية ليس على درجة من الفعالية ، مثل تطور القوى الناشئة بصورة غير ظاهرة وفى مقدمتها القوى العضلية .

واكثر ممثلى هذا النوع روعة ، وهو الذى يهمنا ، هو الرعّاد الكهربائى . وتزن هذه السمكة ، التى تعيش فى البحار الحارة ،

حوالى ١٠٠ كيلوغرام ، اما طولها فيصل الى المترين . وتزن اعضاؤها الكهربائية المركبة على جانبى الرأس اكثر من بود* (pood) وهذا الرعاد الذى لا يتعب قادر على اعطاء تيار قدره ٨ امبيرات و جهد قدره ٣٠٠ فلط . وهذا يشكل خطورة جدية على حياة الانسان .

من الصعب ان نتوقع من الاسماك الكهربائية حساسية كبيرة نحو التيار . والرعاد يتحمل بالفعل وبسهولة ، الجهد الكهربائى ، المميت بالنسبة للاسماك الاخرى . ومن حيث البنية ، فان الاعضاء الكهربائية للرعاد تشبه الى حد العجب ، بطارية العناصر الجلفانية . فهى تتألف من اسطوانات كثيرة العدد ، مجموعة على شكل اعمدة (ربط العناصر على التوالى) مرتبة بعضها بجانب بعض فى صفوف كثيرة (ربط على التوازى) .

ان احد وجهى الاسطوانة املس ويحمل شحنة سالبة . اما الاخر وهو ذو جذع ناتىء فمشحون بشحنة موجبة . وكما هو مفروض ، فان الجهاز كله يدخل ضمن نسيج عازل كهربائى . لن نحاول التعمق فى آلية ظهور القوة المحركة فى اعضاء الرعاد ، كما لم نبحث فى حينه مبدأ تأثير العنصر الجلفانى العادى (ستتبع نصيحة ك) . ان الكثير من الامور هنا غير واضح . وبثقة يمكن ان نؤكد شيئا واحدا فقط : هو ان عمل الاعضاء الكهربائية قائم على القوى الكيميائية ، كما فى العنصر الجلفانى .

اننا لن نوسع كذلك حلقة التعارفات وسط الاسماك الكهربائية . ولكن يجب ان ننوه الى وجود سمكة عظيمة من قاطنات النيل —

---

* البود — وحدة وزن تساوى ١٦,٣٨ كيلوغرام او ٣٦ رطلا مصريا — المترجم

مورميروسا ، أو فيل الماء . وهذه السمكة مجهزة برادار عجيب . وفي قاعدة الذنب يكمن مولد تيار كهربائي متناوب ، يرسل دفعات ، بتردد يساوى عدة مئات من الذبذبات في الثانية . وتولد الاشياء المحيطة بها مجالا مغنطيسيا كهربائية حولها ، بحيث يلتقطه في الحال لاقط فوق ظهرها . وحساسية رادارها عظيمة لدرجة كبيرة . ان صيد مورميروسا في شبكة مستحيل . وفي الحوض تأخذ بالتحرك سريعا ، فور دعك شعرها بالمشط عدة مرات .

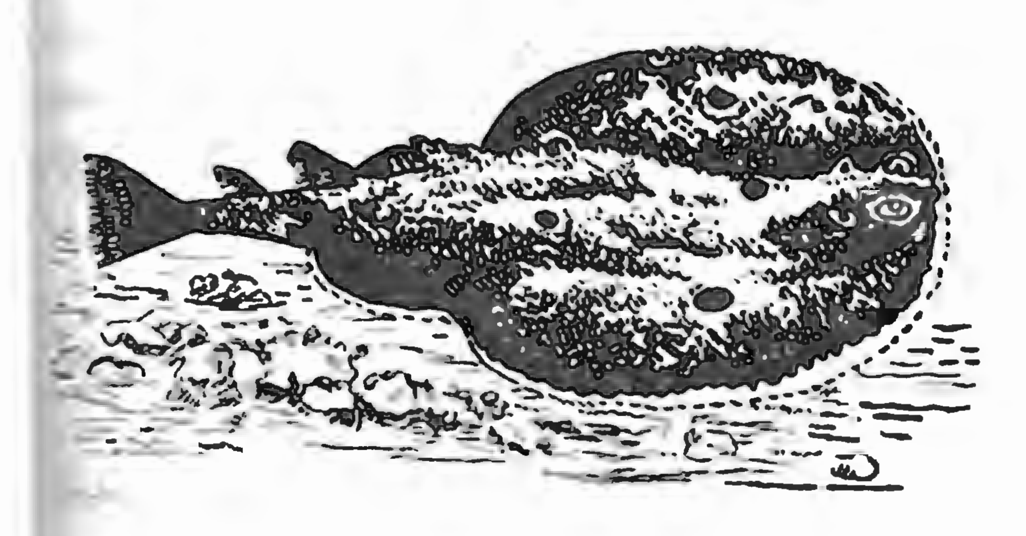
طبيعة النبض العصبي — ان الرعاد وما يشبهه من اسماك ، بكل ما لديها من تجهيزات كهربائية ، ليست في نهاية الامر سوى تقلب لاهواء الطبيعة . فالطبيعة خصصت دورا لامثيل له للكهرباء الحرة في الكائنات الحية وهذه الكهرباء تعمل كخطوط الاتصال ، التي تنقل الى الدماغ « برقيات » من الاعضاء الحسية عن كل ما يتم في العالم الخارجي وكذلك الاوامر الجوابية للدماغ الى العضلات والاعضاء الداخلية .

ان الاعصاب تخترق كل الجسم في الكائنات الحية المتكاملة البنية الى حدما ، وبفضلها يتصرف الكائن الحي كوحدة كاملة مؤديا العمل بشكل مدهش وملائم . ويكفي قطع عصب مؤد الى عضلة ما ، حتى تصبح هذه العضلة مشلولة ، مثل اسطوانة المحرك حين تمتنع عن العمل اذا قطعنا الواصل الذي يوصل نبضات التيار لماسورة التشغيل .

ان هذا ليس تشابها خارجيا وحسب . فقد ثبت منذ عصر جلفاني ان الاشارة المعطاة للالياف العصبية (نبضة عصبية) هي عبارة عن نبضة كهربائية قصيرة الامد . ان الامر لايجري ، في الحقيقة ، بهذه البساطة كما يمكن ان نظن . فالعصب ليس مجرد

قناة خاملة ذات موصلية كبيرة ، مثل سلك معدني عادى . انه يذكّر على الاغلب ، بما يسمى فى التكنيك بالمرّحل الخطى ، حيث تنتقل الاشارة الواصلة فقط للاجزاء المجاورة حيث تتقوى فيها ثم تنزلق الى ابعد ، وهناك تتقوى من جديد ، وهكذا . ونظرا لذلك يمكن ان تعطى الاشارة الى مسافات هائلة ، دون ضعف ، بغض النظر عن التخامد الطبيعى .

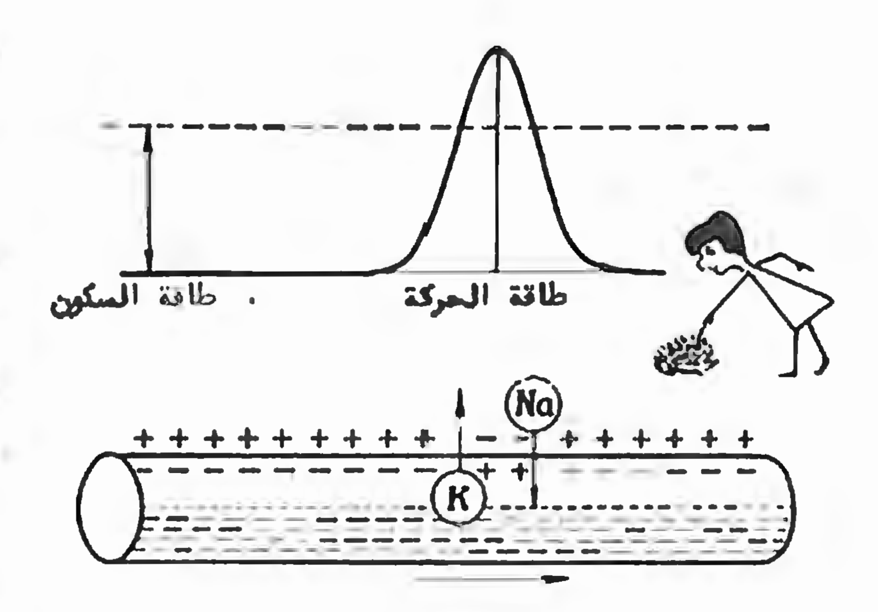
اذن ما هو العصب ؟ فبهذا الصدد يكتب ر. جيرارد : « ان العنكبوت الذى نراه من الارض معلقا على خيوطه وعلى ارتفاع بناء مؤلف من ستة طوابق اذا صغرناه بمقدار عشرين مرة اخرى (ومعه الخيط الذى يحمله) فانه يمكن ان يذكرنا بالخلية العصبية ، او العصبون . ان جسم الخلية العصبية لا يختلف عن الخلايا الاخرى لا بابعاده ولا بأى من الخواص الاخرى ... الا ان العصبون ، خلافا « للخلايا العادية غير المهمة ، يملك ليس فقط جسما خلويا » — انه يرسل زوائد دقيقة شبيهة بالخيطان من اجل فحص الاجزاء النائية من الجسم . واغلب الزوائد تتوزع على مسافات غير كبيرة ... الا ان واحدة منها وقطرها اصغر من ٠,٠١ ٪ ملمتر ،



تبتعد راغبة فى التجوال ، الى مسافات هائلة ، تقاس بالسنتمترات بل وبالامتار .

ان كافة عصبونات الجهاز العصبى المركزى مجتمعة معا فى الدماغ الرأسى والحبل الشوكى ، حيث تشكل مادة سنجابية ... وتربطها مع الاجزاء الاخرى من الجسم فقط الزوائد الطويلة ـ المحاور العصبية . واحزمة هذه المحاور العصبية ، او الزوائد المحورية المبتعدة عن الخلايا العصبية القريبة احداها من الاخرى ،





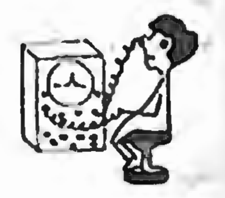
تشكل الاعصاب » . وثمة مادة وهى ـ النخاعين تغطى غالبية المحاور العصبية بطبقة رقيقة ، كما يلف شريط العزل حول الموصل الكهربائى .

والمحور العصبى ذاته يمكن ان يتصوره المرء كانبوب اسطوانى طويل ذى طبلة سطحية تفصل محلولين مائيين مختلفى التراكيب الكيميائية والكثافة . ان الطبلة شبيهة بجدار ذى اعداد كبيرة من الابواب نصف المفتوحة ، التى يمكن لايونات المحاليل ان تشق طريقها خلالها ، ولكن بصعوبة فائقة . ان اعجب ما فى الامر هو ان المجال الكهربائى « يغلق هذه الابواب » وحين يضعف تنفتح بشكل اعرض .

توجد داخل المحور العصبى ، فى حالة خاملة ، كثرة من ايونات البوتاسيوم ، ومن الخارج ـ ايونات البوتاسيوم . وتتركز الايونات السالبة بشكل رئيسى على السطح الداخلى للطبلة ، لذا فهى مشحونة بشحنة سالبة ، اما السطح الخارجى فمشحون بشحنة

العينان مغلوقتان   العينان مفتوحتان   العينان مغلوقتان

50 mV



موجبة : وعند تهيج العصب يزداد استقطاب الطبلة (نقصان الشحنات على سطحه) ، مما يؤدى الى نقصان المجال الكهربائى داخلها . ونتيجة لذلك « تفتح الابواب » لأيونات الصوديوم فتبدأ هذه بالنفوذ داخل الليف . وفى النهاية يزول استقطاب الطبلة محليا . هكذا تظهر النبضة ، وهى فى الحقيقة نبضة للجهد * ، يثيرها سريان التيار خلال الطبلة .

فى هذه اللحظة « تنفتح الابواب » من اجل ايونات البوتاسيوم . وهذه ، اثناء عبورها الى سطح المحاور العصبية ، تعيد ذلك الجهد (حوالى ٠,٠٥ فلط) الذى كان لدى العصب قبل تهيجه .

وعند زوال استقطاب مكان ما من الطبلة ، يظهر تيار كهربائى موجه من الامكنة غير النشيطة من الطبلة نحو المكان الذى زال فيه الاستقطاب . وفى النتيجة تظهر امكنه جديدة زال فيها الاستقطاب وهى بدورها تهيج العمليات فى الامكنة المجاورة ، والخ . ان حالة الزوال الذاتى للاستقطاب تبدأ بالانتشار فى الليف الاول

---

* تأمل ، ان الجميع يدرك ، الى حد ما ، معنى الجهد فى الشبكة الكهربائية . وهنا ايضا يكون لكلمة الجهد نفس المعنى بالضبط .

دون تخامد وبسرعة تقدر بحوالى ١٢٠ مترا فى الثانية . وهى سرعة حركة النبضة العصبية .

ان ايونات الصوديوم والبوتاسيوم ، المزاحة من اماكنها التى كانت تقطنها لوقت طويل ، تعود ، لدى مرور النبضة ، بالتدريج وتمر مباشرة عبر الجدار بسبب العمليات الكيميائية ، التى لا تعرف آليتها حتى الآن .

ومما يثير العجب ، ان كل سيرة الاحياء العليا ، وكل الجهد الابداعى للدماغ البشرى قائم فى نهاية المطاف على هذه التيارات الضعيفة للغاية ، وعلى هذه التفاعلات الكيميائية المجهرية الدقيقة .

التيارات الحيوية للدماغ – سنتطرق هنا الى قدس الاقداس فى الطبيعة الحية – الدماغ البشرى . ففى الدماغ تتم العمليات الكهربائية دون انقطاع . واذا وضعنا على الجبين وعلى القفاء اسطوانات معدنية متصلة عبر مضخم بجهاز تسجيل ، فانه يمكننا تسجيل الذبذبات الكهربائية المتوصلة للحاء سحاءة المخ* . ويتعلق ايقاعها وشكلها وشدتها بحالة الانسان .

ففى دماغ الانسان الجالس بهدوء ، وعيناه مغلقتان ، ولا يفكر بشىء ، تحدث حوالى ١٠ ذبذبات فى الثانية (تسمى بموجات الفا) وعندما يفتح الانسان عينيه ، فان موجات الفا تختفى وتظهر مكانها ذبذبات اسرع غير مضبوطة .

وعندما يستغرق الانسان فى نومه ، فان ايقاع موجات الفا يبطىء وتتزايد سعتها . وخلال الاحلام تتغير طبيعة الذبذبات قليلا ، وهذا يسمح لنا ان نعين وبدقة لحظة بداية ونهاية الحلم .

---

* ان الذبذبات تلاحظ ليس فى دماغ الانسان وحسب ، بل وكذلك فى دماغ الحيوانات .

وعندما يتعرض الدماغ للامراض ، فان طبيعة الذبذبات الكهربائية تتغير بشكل حاد للغاية . وهكذا فان الذبذبات الشاذة لدى الصرع يمكن أن تكون كدليل صحيح على وجود المرض .

ان كل هذا يبرهن ، على ان الخلايا الدماغية توجد فى حالة نشاط دائم ، واعدادها الكبيرة « تهتز معا مثل كمانات جوقة موسيقية ضخمة » . والنبضات العصبية الواصلة الى الدماغ لا تسير على طرق معبدة ، بل انها تغير صورة توزيع الذبذبات فى لحاء انصاف الكرات الكبيرة .

وتتغير طبيعة النشاط الكهربائى مع العمر خلال فترة الحياة والدراسة .

ولا يجب الظن فى ان الذبذبات الكهربائية ترافق عمل الدماغ كمجرد صخب ــ كالصخب الذى يرافق حركة السيارة ، بل انها تعتبر حالة جوهرية لكل نشاطه الحيوى. وان العمليات المغنطيسية الكهربائية بالذات هى التى تحدد كل العمل للآلة الحاسبة الالكترونية ، القادرة على القيام ببعض وظائف الدماغ وبشكل افضل منه .

ومن الجدير بالذكر انه لا توجد لكل فكرة أو لكل حس ، ذبذبة معينة خاصة بها . وان تحديد ما يفكر به الانسان ، من خلال شكل الذبذبات الكهربائية ، غير ممكن .

اننا لانعلم حتى الآن ما هى الوظائف التى تقوم بها هذه العمليات فى الدماغ . ولكنها تبين بوضوح ان الاساس المادى للتفكير هى العمليات المغنطيسية الكهربائية فى المادة البالغة شأنا عظيما من التنظيم ، والتى ابدعتها الطبيعة على كوكبنا .

الاشعة الشمسية ـ جاء على لسان كارامازوف ، احد الابطال الكئيبين ، فى رواية دستويفسكى « الاخوة كارامازوف » ما يلى : « عزيزة على تلك الاوراق المتفتحة فى الربيع ، عزيزة هى السماء الزرقاء » .

ان ضوء الشمس كان وسيظل دائما رمزا للشباب الابدى ، رمزا لكل ما يمكن ان يكون افضل فى الحياة . اننا نشعر بسعادة الانسان الذى يعيش تحت الشمس ، من خلال القصيدة الاولى لطفل فى الرابعة من عمره :

لتبقى الشمس وضية
لتبقى السماء بهية
لتبقى امى لى ...
ولأبقى سعيدا رضيا .

ويقول الشاعر دمترى كلدرين فى رباعيته :

تقولين ان شمسنا مطفأة
تقولين اننا قد شخنا سوية ،
ولكن انظرى كم هى السماء وضية
أنها اقدم منا بعصور كثيرة ...

امبراطورية الظلام ، الامبراطورية الكئيبة ـ ليست انعدام النور فقط ، بل هى رمز لكل ما هو متعب ، مرهق لروح الانسان . عبادة الشمس ـ اقدم واروع عبادة للبشرية . انها متمثلة فى الاله كون ـ تيكى خالق البيروانيين وفى اله المصريين القدماء ـ رع ، وغيره . وقد استطاع الناس منذ فجر حياتهم ، ان يفهموا بان الشمس هى الحياة . واننا نعلم منذ زمن بعيد ان الشمس ليست

الهة، بل كرة متوهجة، الا ان قلسيتها
لدى الناس ستبقى الى الابد .



حتى الفيزيائى الذى اعتاد التعامل
مع التسجيل الصحيح للظواهر، يحس
بشعور ذلك المجدف حين يقول ان
ضوء الشمس – هو موجات مغنطيسية
كهربائية ذات طول معين ، ولا شيء
اكثر . ولكن الامر هكذا تماما ،
ونحن معا يجب ان نحاول فى هذا
الكتاب التحدث فقط عن هذا .

اننا نفهم من كلمة ضوء ،
الموجات المغنطيسية الكهربائية ،
ذات الاطوال من ٠,٠٠٠٠٤ ستتمتر
الى ٠,٠٠٠٠٧٢ ستتمتر ، اما الموجات الاخرى فانها لا تثير
انطباعا بصريا .

وطول الموجة الضوئية صغير جدا . تصوروا ان موجة بحرية
متوسطة ، كبرت لدرجة انها شغلت كل المحيط الاطلسى من
نيويورك فى امريكا ، حتى لشبونة فى اوروبا . ولو كبر طول
الموجة الضوئية بنفس هذا المقياس لما زاد على عرض هذه الصفحة
الا قليلا .

العين والموجات المغنطيسية الكهربائية – ولكننا نعرف تماما ،
انه توجد موجات مغنطيسية كهربائية ، ذات اطوال اخرى مختلفة .
فهناك الموجات الكيلومترية ، ثم هناك الموجات الاقصر من الضوء
المرئى : الاشعة فوق البنفسجية واشعة رونتجن ، وغيرها . فلماذا

خلقت الطبيعة عيننا (كعين الحيوانات على السواء) حساسة فقط لفاصل معين ، ضيق نسبيا ، من اطوال الموجات ؟

يشغل الضوء المرئى فى جدول الموجات المغنطيسية الكهربائية شريطا ضئيلا محصورا بين الاشعة فوق البنفسجية والاشعة دون الحمراء . وعلى الاطراف تمتد اشرطة عريضة من الموجات اللاسلكية واشعة غاما المنبعثة من النواة الذرية .

وجميع هذه الموجات تحمل طاقة ، ويخيل انها قادرة ان تفعل من اجلنا ما يفعله الضوء ، وبنفس الدرجة ، وانه من الممكن للعين ان تكون حساسة نحوها .

طبعا ، يمكن القول فورا ، ان اطوال الموجات ليست جميعها ملائمة . فاشعة غاما ورونتجن تلاحظ فقط فى حالات خاصة ، وهى غير موجودة تقريبا حولنا . « والحمد لله على ذلك » . لانها تسبب مرضا اشعاعيا ، لذا فليس بوسع البشرية ان تتمتع بصورة العالم مع اشعة غاما ، لوقت طويل . كذلك فان الموجات اللاسلكية الطويلة غير ملائمة ابدا . فهى تتجاوز الاشياء التى يبلغ حجمها نحو المتر ، مثلما تتجاوز الموجات البحرية حصى الشواطىء المعترضة . اننا لا نستطيع بهذه اليموجات التطلع الى الاشياء التى تشكل رؤيتها ضرورة حياتية . لان تجاوز الموجات للاشياء كان سيجعلنا نرى العالم « مثل السمكة فى الطمى » .

ولكن هناك الاشعة دون الحمراء (الحرارية) غير المرئية ، والقادرة على تسخين الاجسام . يخيل انها يمكن ان تحل ، بنجاح ، محل تلك الموجات التى تدركها العين . او يمكن للعين ان تتكيف نحو الاشعة فوق البنفسجية .

وماذا بعد ، هل ان اختيار الشريط لاطوال الموجات ، الذى

ندعوه بالضوء المرئى ، على تلك الرقعة بالضبط من الجدول ، هو صدفة مطلقة ؟ ولكن الشمس تبعث الضوء المرئى وكذلك الاشعة فوق البنفسجية ودون الحمراء .

كلا وكلا ! ان الامر هنا ابعد من ان يكون صدفة . فقبل كل شيء يقع الحد الاقصى لاشعاع الشمس للموجات الكهرمغنطيسية فى المجال الاخضر المصفر من الطيف المرئى . غير ان المهم ليس هذا . ان الاشعاع سيكون شديدا بشكل كاف ايضا ، فى المناطق المجاورة فى الطيف .

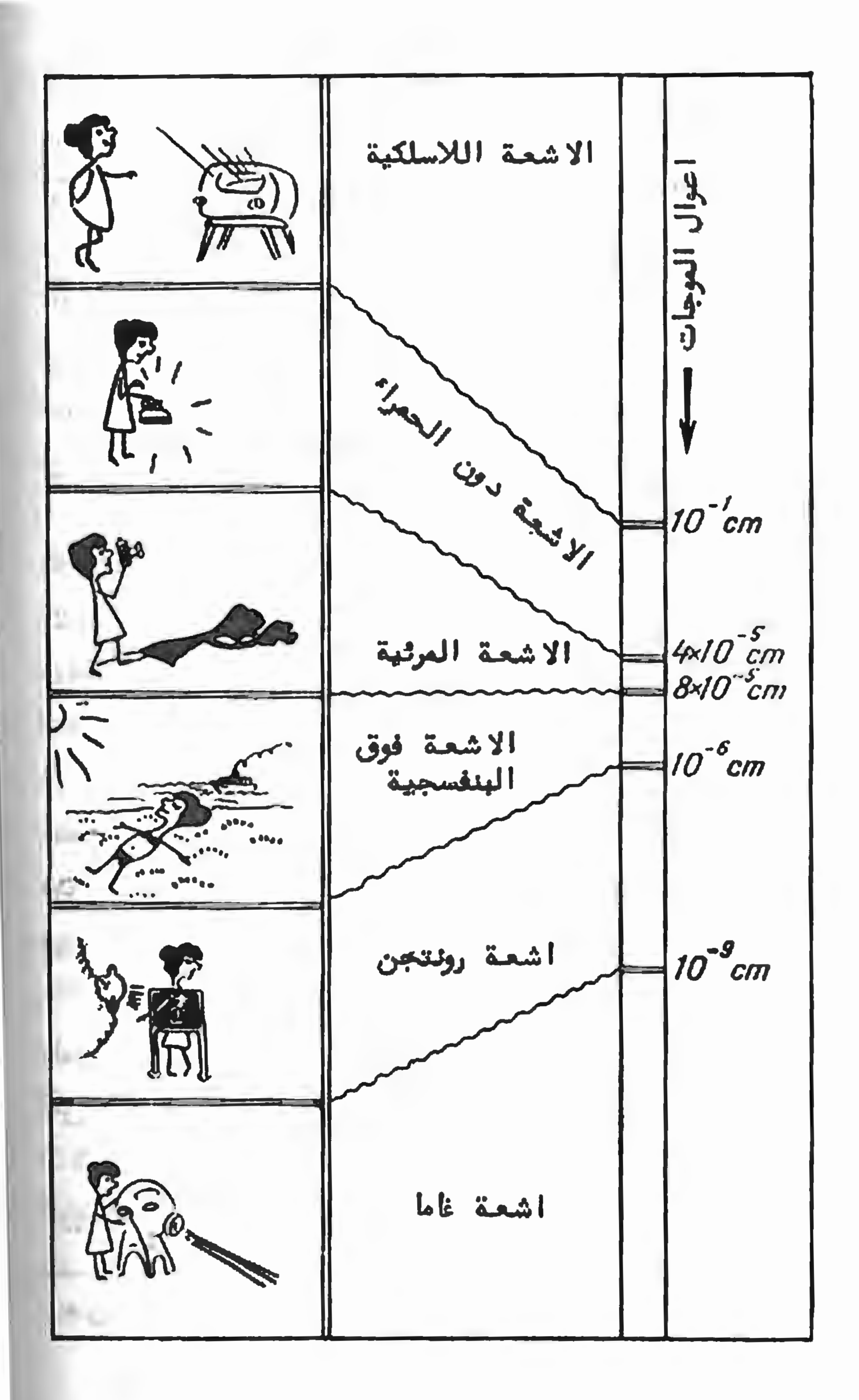
« نوافذ » فى الاتموسفير * ــ اننا نعيش فى قاع محيط هوائى . فالارض محاطة بالاتموسفير ، الذى نحسبة شفافا وهو فى الواقع كذلك ، ولكن فقط بالنسبة لنطاق ضيق من اطوال الموجات (رقعة ضيقة من الطيف ، كما يقول الفيزيائيون فى مثل هذه الحالة) التى تتلقاها عيننا .

هذه اول « نافذة » بصرية فى الاتموسفير . ان الاكسجين يمتص الاشعة فوق البنفسجية بقوة . وابخرة الماء تعيق الاشعاع دون الاحمر . والموجات اللاسلكية الطويلة تندفع الى الخلف حين تنعكس عن الايونوسفير (الطبقة المتأينة فى الجو) .

توجد ايضا « نافذة لاسلكية » واحدة فقط ، شفافة خاصة بالموجات التى يتراوح طولها بين ٠,٢٥ سنتمتر و ٣٠ مترا . لكن هذه الموجات ، كما ذكرنا ، لا تلائم العين بالاضافة الى ان شدتها فى طيف الشمس قليل جدا . ولقد تطلب الامر قفزة كبيرة فى تطور التكنيك اللاسلكى بسبب تحسين الرادارات خلال

---

* طبقة الجو ــ المترجم .



اعوال الموجات
الاشعة اللاسلكية
الاشعة دون الحمراء
10^{-1} cm
الاشعة المرئية
4×10^{-5} cm
8×10^{-5} cm
الاشعة فوق البنفسجية
10^{-6} cm
اشعة رونتجن
10^{-9} cm
اشعة غاما

الحرب العالمية الثانية من اجل دراسة هذه الموجات باطمئنان .

وهكذا ، ففى عملية الصراع من اجل البقاء اكتسبت الكائنات الحية عضوا يستجيب تماما لتلك الاشعاعات الاكثر شدة والتى لاءمت الغاية التى وجدت من اجلها ، بشكل جيد.



ان يكون الحد الاعلى لاشعاع الشمس واقع بالضبط فى وسط « النافذة البصرية » هو شيء يجب على الارجح ان نعده هدية اضافية من الطبيعة . (ومن الواضح عموما ان الطبيعة سخية فى علاقتها مع كوكبنا . ويمكن القول انها فعلت كل شيء او تقريبا كل ما يتعلق بها من اجل ان نستطيع الولادة والعيش بسعادة . وهى ، طبعا ، لم تستطع « التنبؤ » بجميع نتائج سخائها ولكنها اعطتنا عقلا وبواسطته جعلتنا مسؤولين عن مصيرنا اللاحق بانفسنا) . وربما كان يمكن تجاوز ذلك التطابق العجيب بين الحد الاعلى لاشعاع الشمس والحد الاعلى لشفافية الاتموسفير . فان اشعة الشمس كانت عاجلا او آجلا ستستطيع ايقاظ الحياة على الارض ، وكنا سنستطيع بدورنا ان نحافظ عليها فى المستقبل .

السماء الزرقاء ــ اذا كنتم تقرأون هذا الكتاب لا كوسيلة للتثقيف الذاتى ، الذى من المؤسف ان نستغنى عنه ، بعد ان صرفت النقود وكذلك الوقت ، بل « مع الاحساس والفهم والترتيب » ، فعليكم ان تولوا الاهتمام لما هو بديهى ومتناقض . ان الحد الاعلى

لاشعاع الشمس يقع فى الطيف على الجزء الاخضر المصفر الذى نراه اصفرا .

ان المسئول هو الاتموسفير . اذ يسمح بمرور الجزء ذى الموجة الطويلة من الطيف (الاصفر) على افضل وجه ، اما الجزء القصير الموجة فانه يمرره بشكل اردأ . ولذلك يظهر الضوء الاخضر ضعيفا جدا .

ان الموجات القصيرة يبددها الاتموسفير عموما فى جميع الجهات بشدة خاصة. لذا « تبدو السماء من فوقنا زرقاء » لا خضراء او حمراء . ولو لم يكن هناك اتموسفير بتاتا لما كانت فوقنا سماء مألوفة ، ولاحتلت مكانها ــ لجة سوداء مع شمس ساطعة . وهذا ما لم يره حتى الآن سوى رواد الفضاء . ان شمسا كهذه ضارة دون لباس واق . وفى الجبال العالية حيث يوجد ما يمكن التنفس به بعد ، تغدو الشمس محرقة بشكل لايطاق* : لايجوز البقاء دون لباس ، وعلى الثلج ــ دون نظارات عاتمة . حيث يمكن ان يحترق الجلد وشبكية العين .

هبات الشمس ــ الموجات الضوئية ، الساقطة على الارض ــ هبة من الطبيعة ، لاتقدر بثمن . فهى قبل اى شيء ، تعطى الدفء ، ومعه الحياة . وبدونها لجمّد البرد الكونى الكرة الارضية . ولو ضاعفنا كمية الطاقة المستهلكة من قبل البشرية (الوقود ، الماء الساقط ، والريح) ٣٠ مرة ، لشكل هذا فقط جزءا من الف من تلك الطاقة التى تقدمها لنا الشمس مجانا ودون اى عناء منها .

---

* لا يمتص الاشعاع فوق البنفسجى فى الطبقات العليا من الاتموسفير ، بشكل كاف .

اضف الى ذلك ، ان الانواع الرئيسية من الوقود ــ الفحم الحجرى والنفط ــ ليست سوى « اشعة شمسية محفوظة ». وهي بقايا عالم نباتي ، وجزئيا عالم حيواني ، كانا في وقت ما يغطيان كوكبنا بلون ناضر .



ان الماء الموجود في عنفات المحطات الكهربائية كان في وقت ما على شكل بخار في الجو وذلك تحت تأثير طاقة الاشعة الشمسية . فالاشعة الشمسية هي التي تدفع الاجسام المعلقة في طبقتنا الجوية للحركة .

ولكن هذا ليس كل شيء . ان الموجات الضوئية لا تسخن فحسب . بل هي تبعث في المادة نشاطا كيميائيا ، لا يمكن ان يولده تسخين بسيط . وان بهتان الانسجة ولفح البشرة هي نتائج لتفاعلات كيميائية .

ان تفاعلات ذات اهمية كبرى تجرى في « الاوراق الربيعية اللزجة » وفي ابر الصنوبر واوراق الاعشاب ، وفي الاخشاب ، وفي الكثير من الكائنات المجهرية على حد سواء . وتحت الشمس تجرى في الاوراق الخضراء العمليات الضرورية من اجل الحياة على الارض . فهي تعطينا الطعام ، وهي ذاتها تقدم لنا الاكسجين من اجل التنفس .

ان جسمنا ، كباقي اجسام الاحياء العليا الاخرى ، غير قادر على ربط عناصر كيميائية نقية في سلسلة ذرات معقدة ــ جزيئات

المواد العضوية . وحين نستهلك الاكسجين الضروري حيويا ، نطلق غاز ثاني اكسيد الكربون (CO_2) ، نربط الاكسجين ونصنع هواء غير صالح للتنفس ويجب تنقيته باستمرار . وهذا العمل تقوم به عوضا عنا النباتات على اليابسة والكائنات الدقيقة في المحيطات .

والورقيات تمتص من الجو غاز ثاني اكسيد الكربون وتشطر جزيئاته الى مركباتها : كربون واكسجين . يذهب الكربون الى الانسجة الحية للنبات ، والاكسجين يعود الى الهواء . والنباتات حين تلحق بالسلسلة الكربونية ذرات عناصر اخرى تستخلصها من الارض عن طريق الجذور ، تبني جزيئات البروتينات والدهون والكربوهيدرات : طعاما لنا وللحيوانات .

ان كل هذا يجري بفضل طاقة الاشعة الشمسية . وما هو هام هنا خاصة ليس الطاقة بحد ذاتها ، وانما ذلك الشكل الذي تؤثر فيه . ان التمثيل الضوئي (هكذا يسمي العلماء تلك العملية) يمكن ان يجري فقط تحت تأثير الموجات المغنطيسية الكهربائية في فاصل معين من الطيف .

لن نقوم بمحاولة التحدث عن عملية التمثيل الضوئي . فهو غير واضح بعد حتى النهاية وعندما يحدث هذا ، سيحل ، ربما ، عصر جديد للبشرية . ان انماء البروتينات والمواد العضوية الاخرى سيكون ممكنا مباشرة في انابيق تحت قبة السماء الزرقاء .

ضغط الضوء — يولد الضوء أدق التفاعلات الكيميائية . وواضح انه قادر كذلك على القيام بافعال آلية بسيطة . وهو يضغط على الاجسام المحيطة . وفي الحقيقة ، يظهر الضوء هنا لباقة معروفة . فالضغط الضوئي صغير جدا . وتقع على المتر المربع من سطح الارض في النهار المشمس الصاحي قوة قدرها نصف ميلغرام فقط .

وتؤثر على كل الكرة الارضية قوة هائلة جدا ، حوالى ٦٠٠٠٠ طن ولكن هذه القوة صغيرة وتافهة بالمقارنة مع قوة الجاذبية (اقل منها بـ ١٠^١٤ مرة) .

وهنا برزت عبقرية الاستاذ ليبيدوف العظيمة لاكتشاف الضغط الضوئى . ففى بداية هذا القرن قام بقياس الضغط ليس على الاجسام الصلبة وحسب بل وعلى الغازات .

وبغض النظر عن ان الضغط الجوى قليل جدا ، فان تأثيره يمكن ان يؤدى الى نتائج ملحوظة . وثمة حادثة طريفة حصلت للتابع الامريكى « ايهو » . فبعد خروج التابع الى المدار بالغاز المضغوط امتلأ بغطاء بوليتينى كبير . وتشكلت كرة خفيفة قطرها حوالى ٣٠ مترا . واتضح بشكل غير متوقع ان التابع ينزاح عن مداره مسافة ٥ امتار فى كل دورة وذلك تحت تأثير ضغط الاشعة الشمسية . وبالنتيجة فان التابع بقى على المدار اقل بسبعة سنين عن الفترة التى كانت مقدرة له .

ان ضغط الموجات المغنطيسية الكهربائية يجب ان يبلغ قيمة هائلة داخل النجوم عندما تصل الحرارة الى عدة ملايين من الدرجات . وهو يلعب الى جانب قوى الجاذبية والضغط العادى دورا ملموسا فى العمليات الداخلية .

ان آلية ظهور الضغط الضوئى بسيطة نسبيا . ويمكننا ان نتحدث عنها ببعض الكلمات . ان المجال الكهربائى للموجة المغنطيسية الكهربائية الساقطة على المادة ترج الالكترونات . وهذه تبدأ بالاهتزاز فى اتجاة مقاطع لاتجاه انتشار الموجة . غير ان هذا فى حد ذاته لا يحدث ضغطا .

ويبدأ المجال المغنطيسى للموجة بالتأثير على الالكترونات

المتحركة . وهذا المجال . يدفع الالكترونات على طول الموجة الضوئية ، مما يؤدى فى آخر الامر الى ظهور الضغط على قطعة المادة باكملها .

مبشرو العوالم البعيدة — اننا نعلم كم هو عظيم ولانهائى ذلك المكان الذى تشغله مجرتنا فى الكون — وهى تجمع اعتيادى من النجوم . اما الشمس فهى نجمة عادية تدخل فى عداد الاقزام الصفراء . والكرة الارضية هى العنصر الوحيد من عناصر المجموعة الشمسية الذى يحتل مكانا مميزا . اذ ان الارض هى اكثر الكواكب فى المجموعة الشمسية ملاءمة للحياة .

ونحن لا نعرف فقط موقع عدد لا يحصى من العوالم النجمية ، بل ونعرف تركيبها ايضا . انها مبنية من الذرات ، التى تبنى منها ارضنا . ان العالم متوحد .

ويعتبر الضوء مبشرا لعوالم بعيدة . وهو منبع الحياة ومنبع معارفنا عن الكون . « كم هو عظيم ورائع هذا العالم » — تقول لنا الموجات المغنطيسية الكهربائية القادمة الى الارض . والموجات المغنطيسية وحدها التى « تقول » ذلك — فمجالات الجاذبية لاتعطى شيئا من المعلومات المتساوية القيمة عن الكون .

ان النجوم والتجمعات النجمية يمكن ان تراها العين المجردة او التلسكوب . ولكن كيف نعلم مم تتركب ؟ هنا يهب لمساعدة العين الجهاز الطيفى ، الذى « يفرز » الموجات الضوئية حسب اطوالها ويرسلها الى سائر الجهات .

وترسل الاجسام الحارة ، الصلبة ، والمائعة طيفا مستمرا ، اى اطوال متنوعة من الموجات . ابتداء من دون الحمراء الطويلة وانتهاء

بالموجات فوق البنفسجية القصيرة .

والذرات المعزولة او شبه المعزولة للابخرة الناتجة عن المادة ، هي امر آخر تماما ، فطيفها — هو سياج من خطوط متعددة الالوان ، مجزأة باشرطة عريضة وقاتمة . وكل خط لوني تطابقه موجة كهربائية ذات طول معين* .

والاهم في الامر : ان ذرات كل عنصر كيميائي تعطي طيفا خاصا وهو لا يشبه اطياف ذرات العناصر الاخرى . وكما هي بصمات الاصابع عند الناس ، تملك الطيوف الخطية للذرات تفردا لا مثيل له . ان تفرد الزخارف على جلد الاصبع يساعد على كشف المجرمين . وهكذا تماما ، يعطي تفرد الطيف العالم الفيزيائي امكانية تعيين التركيب الكيميائي للجسم حتى عندما يكون هذا الجسم نائيا لمسافة يقطعها الضوء خلال ملايين السنين** . ان تلك العناصر الموجودة على الارض ، « وجدت » كذلك على الشمس والنجوم . والهليوم اكتشف على الشمس اولا ومن ثم وجد على الارض .

اذا كانت الذرات المشعة موجودة في مجال مغنطيسي ، فان طيفها يتغير بشكل ملموس . حيث تنشطر بعض الاشرطة الملونة

---

* يجدر بالذكر ، انه لا توجد اية الوان خارج الطبيعة بل فقط توجد موجات ذات اطوال مختلفة .

** ان التركيب الكيميائي الشمس والنجوم يتعين ، في الحقيقة ليس بواسطة طيوف الانبعاث ، اذ ان الاخيرة عبارة عن طيف مستمر الفوتوسفير (سطح الشمس — أو النجم الساطع) ، بل بواسطة طيوف الامتصاص لاتموسفير لشمس . لان ابخرة المادة تمتص بشكل اشد واعتف اطوال تلك الموجات التي تبعثها هي . إن خطوط الامتصاص المائنة على خلفية الطيف المستمر تسمح لنا بتحديد تركيب الانوار السماوية .

الى عدة خطوط . وهذه الخطوط هي التي تسمح لنا باكتشاف المجال المغنطيسي للنجوم وتحديد مقداره .

ان النجوم بعيدة لدرجة لانستطيع معها ان نلاحظ بشكل مباشر ، متحركة هي ام لا . ولكن الموجات اللونية القادمة منها تحمل لنا هذه الاطياف — ان علاقة طول الموجة بسرعة حركة المصدر (ظاهرة دوبلير التي ذكرت سابقا) تسمح بالحكيم ليس على سرعات النجوم وحسب بل وعلى دورانها .

كانت المعلومات الاساسية عن الكون ترد الينا سابقا عبر « النافذة البصرية » في الاتموسفير . ومع تطور علم الفلك الاشعاعي صارت الاخبار الجديدة عن المجرة ترد اكثر فاكثر عبر « النافذة الشعاعية » والآن ظهرت الامكانية لوضع جهاز حساس للاشعاعات ذات التردد العالي في المحيطات المدارية الكونية . وبفضل هذا تم اكتشاف اكثر من مائة نجمة « رونتجنية » تبعث باشعة رونتجن . وبالاضافة الى ذلك تبعث اشعة رونتجن ايضا النجوم المتجددة العظمى (نجوم فائقة التوهج) — Supernova . (مثلا تلك السحابة السرطانية الشكل ، التي تشكلت نتيجة التهاب نجم متجدد عظيم في عام ١٠٥٤) ، وكذلك الكوازرات — Quazar (نقاط اشعاع خارج المجرة) .

وبمساعدة بعض التوابع الامريكية « فيلا » الموجودة على المدارات في آن واحد ، اكتشفت في بداية السبعينيات اصوات موجات اشعة — غاما ، بفترات تتراوح بين بعض اجزاء الثانية وعشرات الثواني .

من أين تأتي الموجات المغنطيسية الكهربائية — اننا نعلم او نظن باننا نعلم ، كيف تجرى ولادة الموجات اللاسلكية في

الكون . ان احد مصادر الاشعاع قد ذكر سابقا وبشكل عابر : الاشعاع الحرارى ، الناشىء لدى فرملة الجسيمات المشحونة المتصادمة . ويتمتع الاشعاع اللاسلكى اللاحرارى كذلك باهمية كبيرة .

ان الضوء المرئى والاشعة دون الحمراء وفوق البنفسجية كلها على الاغلب ، ذات منشأ حرارى : والحرارة العالية للشمس والنجوم الاخرى هى السبب الرئيسى لولادة الموجات المغنطيسية الكهربائية . والنجوم تشع موجات لاسلكية ايضا لكن شدتها تكون عادة قليلة .

ان الاشعاع الرونتجنى يملك منشأ حراريا او يعتبر سنكروترونيا – Synchrotronons . والسحابة السرطانية الشكل تبعث اشعة رونتجن نتيجة للدوران السريع للالكترونات النسبية فى مجال مغنطيسى قوى . ان منشأ اصوات اشعاع غاما غير واضح بعد . والاشعاع الموجى القصير : اشعة غاما و رونتجن ، تولد كذلك لدى تصادم جسيمات الاشعة الكونية المشحونة مع ذرات الاتموسفير الارضى . وهى فى الحقيقة لاتصل الى سطح الارض ، اذ انها تمتص كليا تقريبا ، بعد ان تولد فى الطبقات العليا من الاتموسفير ، وذلك حين تمر خلاله .

ان الانحلال الاشعاعي للنويات اللدرية هو المورد الرئيسى لاشعة غاما على سطح الارض . حيث تستمد الطاقة هنا من اغنى « مخزن للطاقة » – النواة اللدرية .

ان جميع الكائنات الحية ايضا تبعث الموجات المغنطيسية الكهربائية . كما ان اى جسم حار يرسل اشعة دون الحمراء . وبعض الحشرات (اليباحب مثلا) والاسماك التى تعيش فى اعماق البحار تبعث ضوءا مرئيا . واخيرا تبعث الاشعة البنفسجية فى التفاعلات

الكيميائية المرتبطة بانقسام الخلايا النباتية والانسجة الحية . وهي تدعى بالاشعة ذات المنشأ الانقسامي الخلوي الغير مباشر = – Mitogenetic ، وقد اكتشفها العالم غورفيتش . وكان يظن في وقت ما انها ذات اهمية كبيرة في النشاط الحيوي للخلايا ، لكن التجارب الدقيقة جدا اثارت فيما بعد جملة من الشكوك .

السحابة الشهيرة – ان القارىء الذي ربما تعب على مدى هذا الفصل الطويل متعجبا من تنوع مظاهر المغنطيسية الكهربائية ، لابد وانه توصل الى نتيجة ، مفادها انه ليس في العالم نظرية موفقة اكثر من هذه . وفي الحقيقة ثمة عثرة حصلت عند الحديث عن بنية الذرة . وفيما يتعلق بالامور الاخرى ، فان الديناميكا الكهربائية على ما يبدو ضعيفة ولا غبار عليها . نشأ لدى الفيزيائيين احساس عظيم بالتوفيق في نهاية القرن الماضي عندما كانت بنية الذرة غير معروفة بعد . وهذا الاحساس كان كاملا لدرجة وجد معها الفيزيائي الانكليزي العظيم تومسون اساسا للحديث في نهاية القرن الماضي عن الافق العلمي الصافي ، الذي تركزت فيه وجهة نظره على « سحابتين صغيرتين » . وجرى الحديث عن تجارب مايكلسون حول قياس سرعة الضوء وعن مشكلة السعة الحرارية – فالنظرية الكلاسيكية لم تستطع تفسير سبب تغير السعة الحرارية تبعا لتغير الحرارة . وكان يمكن بحق اضافة « سحابة » اخرى لذلك – مشكلة الاشعاع الحراري . ومن اجل شرح تجارب مايكلسون تطلب ايجاد نظرية خاصة ، هي النظرية النسبية . واتضح ان المراجعة الجذرية للتصورات الفيزيائية ليست باقل ضرورة من اجل حل مشكلتين اخريين ولم يتسنى التوصل لذلك الا بعد ظهور نظرية الكم . وسنتحدث عن الاشعاع الحراري بتفصيل اكثر .



لم يدهش الفيزيائيون من ان جميع الاجسام المسخنة تبعث موجات مغنطيسية كهربائية . فقد كان يجب فقط وصف هذه الظاهرة كميا ، بالاعتماد على النظام المتناسق لمعادلات ماكسويل وقوانين ميكانيكا نيوتن. وبحل هذه المسألة حصل كل من ريلي وجينس على نتيجة مدهشة متناقضة الظاهر . فقد نتج من النظرية بشكل تام غير قابل للجدل ، مثلا ، انه حتى الجسم البشرى الذى درجة حرارته ٣٦,٦° يجب ان يومض بصورة ساطعة ، فاقدا بذلك طاقة ومتبردا بسرعة حتى الصفر المطلق تقريبا . ولا داعى هنا لاية تجارب دقيقة لكى نقتنع بالتناقض الواضح بين النظرية والواقع . ومع ذلك ، نكرر بانه لم تكن حسابات ريلي وجينس تثير شكوكا . لقد كانت نتيجة مباشرة لنفس التأكيدات العامة للنظرية . ولم تستطع اية حيلة ان تنقذ الموقف .

ان قوانين المغنطيسية الكهربائية المبرهنة اكثر من مرة تعطلت فور محاولة تطبيقها على مسألة اشعاع الموجات المغنطيسية الكهربائية القصيرة ، للدرجة صعقت الفيزيائيين ، فصاروا يتحدثون عن « الفاجعة فوق البنفسجية » *. غير انه كان يظهر لكثير من الفيزيائيين فى ذلك الوقت ان مسألة الاشعاع الحرارى - مسألة خاصة ، وليست جوهرية امام الانجازات العامة الهائلة .

* سميت « الفاجعة » بفوق البنفسجية ، لان المشكلة ترتبط باشعاع موجات قصيرة جدا .

الا انه كان محكوما على هذه « الغيمة » ان تتكاثف متحولة الى سحابة ضخمة وحاجبة كل الافق العلمى ، وان تنهمر وابلا لانظير له وتجترف كل اساس الفيزياء الكلاسيكية . لكنها فى ذات الوقت ، تبعث الى الحياة كنظرية فيزياتية جديدة نرمز لها الآن اختصارا بكلمتين « نظرية الكم » .

قبل ان نتحدث عن الجديد الذى قلب الى حد بعيد تصوراتنا عن القوى المغنطيسية الكهربائية والقوى بشكل عام ، سنوجه نظرنا الى الوراء وسنحاول من ذلك الارتفاع الذى وصلناه ان نتصور بجلاء ، لماذا تلعب القوى المغنطيسية الكهربائية فى الطبيعة دورا عظيما لهذه الدرجة .

٦ ــ لماذا كرس اكبر فصلين من الكتاب لوصف القوى المغنطيسية الكهربائية ؟

هذا بديهى ، لان القوى المغنطيسية الكهربائية اكثر انتشارا فى الطبيعة . وان سرعة التبدل الجلية والغير منتظمة ، بعض الشىء لهذا الفصل برهان قاطع على ذلك .

ولكى ما سبب التعدد العجيب لمظاهر القوى المغنطيسية الكهربائية ؟ لماذا قدمت الطبيعة لها اوسع مضمار للنشاط ؟ ان الجواب على السؤال الثانى موجود جزئيا فى صيغة السؤال الاول . ان تعدد اشكال التأثيرات المغنطيسية الكهربائية ، يكييفها طبعا للاشتراك فى العمليات المختلفة للطبيعة الحية والجامدة .

لا ننوى الآن ان نحدثكم عن شىء جديد . فعلى اساس ما سرد يمكنكم ان تجيبوا بأنفسكم على الاسئلة المطروحة . ضعوا

الكتاب جانبا لدقيقة واحدة وفكروا قبل كل شيء بسبب تعدد القوى المغنطيسية الكهربائية . فكرتم ؟ والآن انظروا ، هل اخذتم كل شيء بعين الاعتبار .

من البديهي ان وجود نوعين من الشحنات ، سالبة وموجبة ، هو واحد من اهم عوامل تعدد القوى . فبفضل هذا يمكن التجاذب والتنافر . واذا كانت الشحنة الموجبة مساوية للشحنة السالبة ، فان الاجسام لاتبدي الى حد ما تأثيرا لمسافات كبيرة . ان القوى المغنطيسية الكهربائية بعيدة التأثير بطبيعتها ، ويمكن ان تكون قريبة التأثير .

هناك عامل آخر ، يجب ان لانهمله وهو التعقيد النسبي لقوانين الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية . وخلافا لقوى الجاذبية ، فان القوى المغنطيسية الكهربائية تتعلق ليس فقط بالمسافة بين الشحنات ، بل وبسرعات تأثيراتها . ويوجد فعل متبادل خاص ليس له مثيل في نظرية نيوتن للجاذبية . واخيرا ، تتشكل موجات مغنطيسية كهربائية عند تسارع جسم مشحون . فالفعل المتبادل يتعلق بالتسارع . الا ان تعدد مظاهر المجال المغنطيسي الكهربائي كان سيصبح بلا نفع لو لم تكن الاجسام مركبة من جسيمات مشحونة كهربائيا . ان اهم الاجزاء المكونة للذرة — النواة والالكترونات — التي تحمل شحنة كهربائية .

ان شحنة الجاذبية (الكتلة) خاصة بكل الجسيمات بلا استثناء ، الا ان قوى التجاذب خفيفة جدا وهي غير قادرة ابدا على منافسة القوى المغنطيسية الكهربائية الضعيفة داخل الاشياء . ان الافعال المتبادلة النووية تتمتع بقوة اكبر ، غير انها ليست قادرة على العمل لمسافات قصيرة جدا . اما القوى المغنطيسية الكهربائية

فهي حتى في المجموعات المحايدة تزيد على القوى النووية فيما يتعلق ببعد التأثير ، ومع ازدياد المسافة تتناقص ببطء اكثر الافعال المتبادلة الناشئة عن الموجات المغنطيسية الكهربائية .

ان الاسباب التي ذكرناها كافية لكي تجعل من القوى المغنطيسية الكهربائية ، اكبر قوى « رائجة » في الطبيعة .

٧ ـ الحاشية التي لها كل الحق في ان تكون فصلا

لقد سمينا خاتمة هذا الفصل بالحاشية . وكان يمكن تسميتها فصلا . والامر كذلك تماما حيث ان هذه الحاشية ، اذا تطلب الامر دقة ، كان يجب ان تحول الى فصل مستقل (بل يمكن الى كتاب كامل) ويقدم هذا الفصل قبل جميع الامور الاخرى .

ان الحديث سيجرى عن القوانين السائدة في عالم الجسيمات الاولية ، التي تتكون منها جميع الأشياء المحيطة بنا. ان قوانين الفعل المتبادل لهذه الجسيمات تحدد في نهاية الامر ، القوى في الطبيعة ، تلك القوى التي نتحدث عنها . واذا كنا قد قررنا ان لانبدأ بفصل كهذا وبدلنا ذلك الفصل بحاشية متواضعة فاننا فعلنا ذلك لاسباب كثيرة : الطريق من المعقد الى البسيط لا يكون دائما هو الافضل ، وان تعلم الرياضيات يبدأ من الحساب ، وليس من التكاملات ، فلماذا نخيف القارىء منذ البداية ، الخ .. الخ ؛ واخيرا ، أليس من الافضل حقا ان نكون دقيقين ؟

ثمة رأي آخر غير قليل الاهمية . ان تقييم فكرة فيزيائية تقييما كاملا ممكن فقط عندما تكون مظاهرها ومكانها في السلسلة العامة لمعرفة قوانين الطبيعة مفهومة .



وها نحن الآن ننهي الحديث عن القوى المغنطيسية الكهربائية في تفسيرها الكلاسيكي ونستطيع القول : قبل ان نتم الحديث عن القوى في الطبيعة يجب علينا ان نفتح بابا جديدا يبدأ خلفه المجال العجيب، المتناقض الظاهرة ، احيانا ، والذي يسمى بعالم الدقائق او الجسيمات .

المتقطع في المتواصل – للعلم رمزيته . وكلمة « الكم » (Quantum) ولدت ، او الافضل ان نقول ، حصلت على المواطنة في العلم بحلول القرن العشرين . وسوف لن يبدو تاريخ ميلادها لكل من تهمه « سيرة حياة الافكار » الا مثيرا بل مأسويا .

ان ماكس بلانك كان قد غدى عالما نابغا ، عندما جذبته مسألة انبعاث الموجات المغنطيسية الكهربائية من الاجسام الساخنة . وان نشأة بلانك واترابه من العلماء ، جرت بكاملها تحت تأثير صورة العالم العظيم التي بدت كاملة تماما والتي تسمى الآن بالفيزياء الكلاسيكية . والاساس المتين لهذا كان المفهوم النيوتني للحركة ، وحتى التطور العاصف لنظرية المجال المغنطيسي الكهربائي لم يحمل تغيرات جذرية في تناسقه وكماله . ولكن العلم ذاته يعتبر حركة مستمرة . ففيه تنضج قوى تفند اقوى النظريات اا « كاملة » . فعلى يد ماكس بلانك الكلاسيكي ، بكل ما تعنيه هذه الكلمة من معنى ، تم احداث اول ثغرة في سور قلعة الفيزياء الكلاسيكية * .

* اعمال بلانك في نظرية الاشعاع ظهرت في عام ١٩٠٠ . والنظرية النسبية وضعت عام ١٩٠٥ .

تلك الثغرة التى كان محكوما عليها بالتوسع . وسرعان ما تدفق من خلالها ذلك التيار من الافكار التى لم يتنبأ بها بلانك نفسه . ولم يستطع حتى نهاية حياته ، كما يبدو ، التهادن مع هذه الافكار بصورة كاملة .

ولكن ما هو اكتشاف بلانك ؟

تذكرون انه على غير توقع ابدا ، بدا ان النظرية الصارمة للاشعاع الحرارى ادت الى نتائج غير معقولة كالنتيجة التى يجب فيها على الجسم البشرى ان يضيء بسطوع . ففى المحاولات المبذولة من اجل ازالة هذا التناقض الصارخ بين التجربة والنظرية اظهر بلانك ان جميع الصعوبات تتلاشى عندما نفرض بان الذرات تبعث طاقة مغنطيسية كهربائية على وجبات متقطعة سميت بالكمات. لاحظوا ، ان هذه « الوجبات » لم تنتج ابدا عن الديناميك الكهربائى الماكسويلى الكلاسيكى . بالاضافة الى انها كانت بالنسبة له جسما مختلف الجنس تماما .

ان الفضل العظيم لبلانك يكمن فى انه اول من ادرك ضرورة القيام بوثبة منطقية ، وذلك بوضع فرضية مناقضة لديناميك ماكسويل ، وذلك من اجل الوصول الى تفسير الحقائق التجريبية . يجب فى نقطة ما مخالفة النظرية الكلاسيكية!



قد يكون هناك شيء غير صحيح فى الفعل المتبادل للضوء مع الشحنات، او فى

القوانين نفسها، التي تتحكم بالموجات المغنطيسية الكهربائية ؟ بلانك لم يعلم ذلك . لقد اوجد حقيقة ، لم يكن قادرا على تفسيرها . والاحداث كانت تتطور بسرعة .

ان اشعاع الضوء على وجبات لا يؤدى الى البنية المتقطعة للشعاع الضوئي نفسه . « اذا كانت البيرة تباع دائما فى زجاجات تتسع لغالون – كما يقول اينشتين – لا ينتج عن هذا ان البيرة تتركب من اجزاء غير قابلة للانقسام الواحد منها يساوى غالونا » . الا ان تجارب نزع الالكترونات من المادة بواسطة الضوء بينت بالحاح ان الضوء ايضا يمتص على وجبات متقطعة فقط . وان الوجبة المشعة من الطاقة الضوئية تحافظ على تفردها فى المستقبل ايضا .

لقد صرح بهذه الفكرة لاول مرة اينشتين فى عام ١٩٠٥ . والضوء حسب « وجهة النظر التنقيبية » المطورة من قبله يبدو دائما كتركيب لوجبات منفصلة تتمتع بطاقة ودفع . ويظهر على غير توقع ان وجبة الضوء تشبه الى حد بعيد تلك التى كانت دائما ترتبط بالجسيم . لذا فانهم بدأوا يسمون هذه الصفات – « جسيمية » (Corpuscula) – أى « الجسيمات » و « الجسيم الضوئى » المطابق سمى « فوتون » .

ان الخواص الجسيمية للجسيمات توجد لدى الضوء وعموما لدى جميع الموجات المغنطيسية الكهربائية . هل هذا ممكن ؟ وبالموجات المغنطيسية الكهربائية يرتبط التصور المتعلق بالمادة المنتشرة بلا حدود فى الفراغ ارتباطا « وثيقا » .

اذا سئل اى منكم ، لماذا يمكن سماع بث محطة اذاعة واحدة بعدة اجهزة استقبال موجودة فى اماكن مختلفة ، فان

الجواب لابد وان يكون هكذا : لان الموجات الصادرة عن جهاز الارسال تغطى مساحة كبيرة .

ولكن هذا الجواب الصحيح ، كما يقال ، يمس فقط جانبا واحدا من الظاهرة . انه ذلك الجانب الذى تظهر فيه الاستمرارية .

ولكن من ناحية اخرى كيف يتفق ذلك مع التجزئة ومع التصورات الكمية ؟ وتبعا لذلك تنبعث وتمتص الموجات من قبل الكمات على وجبات وكل واحدة من تلك الوجبات لا تستطيع « الانقسام الى اجزاء » — فالجهاز اللاقط يمتصها كاملة ، او لا يمتصها البتة .

ولكننا نسمع البث كله كاملا لا كقطع منفصلة ، نختطفها من الجيران .

طبعا هنا لا يوجد اى تناقض ظاهرى . فطاقة الكم تتعلق بالتردد : وهى تساوى حاصل ضرب هذا التردد فى ثابت بلانك h الشهير العام* . وهذا المقدار صغير جدا حتى بالنسبة للموجات اللاسلكية القصيرة . وبالنتيجة ، عندما ترسل طاقة كبيرة كافية الى الاثير فان الجهاز اللاقط يقذف باستمرار كمية كبيرة من الكمات . وعندما يقصف الرعد او تعصف الريح . لانحس بجزيئات كثيرة تصطدم بوجهنا . بل تتمازج جميع هذه الصدمات فى احساس واحد : الضغط الناعم للهواء .

غير ان هذه النعومة لا تكون ملموسة دائما وليس اجهزة التجارب الموضوعية تحس بذلك فقط بل واعضاء حواسنا ايضا قادرة على ذلك .

---

* لقد تعرفنا بهذه القيمة ، فى الحقيقة ، فى صيغة اخرى وبالضبط $\hbar$. وتلك الصيغة تستخدم للاختصار وتعنى $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

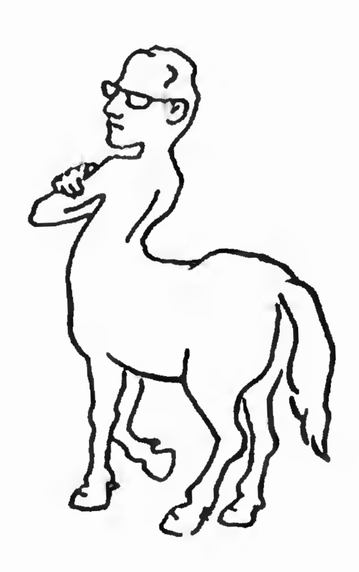
وقد اثبت س . فافيلوف فى تجاربه العظيمة ، مثلا ، ان العين البشرية، ذلك « الجهاز » الاكثر دقة فى جسمنا، قادرة على التأثر بالاختلاف فى عدة عشرات من كمات الضوء .

ومن غير المنطقى (ربما لا لزوم لهذا الآن) تعداد جميع التجارب التى تؤكد بلا شك انه، فى الظواهر المغنطيسية الكهربائية تظهر بوضوح الخواص الموجية (اي تلك التى تشير بشكل غير قابل للجدل ، الى الاستمرارية) والخواص الجسيمية (اى تلك التى يجب ان يربط بها شيء ما منفصل ، متقطع) .

هنا تنشأ على ما يبدو امكانية مغرية . تذكروا النسمة التى تكلمنا عنها لتونا . ان كل شيء هناك (او بجلاء اكثر فى الموجات الضوئية) يتلخص فى نهاية الامر فى حركة الجسيمات - الجزيئات . والصورة الوسطية العامة لحركتها هى التى تكوّن ما نحسّه كموجة او كريح . هل تتصرف الدقائق الضوئية — الفوتونات — كما يليق بجسيمات عادية منضبطة ؟ وهي اذ تنتشر فى بعض الاماكن بشكل منتشر وفى اماكن اخرى بشكل اكثف ، تكون ما نسميه بالموجة المغنطيسية الكهربائية . أليس هذا الشرح غير سيء حقا ؟ ولكن ثمة عقبة قد ظهرت .

لقد اثبتت التجارب الصريحة ، ان الخواص الموجية تظهر لدى الفوتون الواحد ايضا . حتى لدى فوتون واحدا وهنا يوجد ما يستحق التفكير . غير ان هذا ليس سوى قسم صغير من تلك الالغاز التى وضعتها الطبيعة امام الباحثين .

ثنائية الموجات والجسيمات — اذا كان التصور حول المادة المتوزعة فى الفراغ باستمرار مرتبطا دائما بالمجال المغنطيسى (قبل ظهور نظرية الكم على اى حال) فان الالكترونات كانت



بالعكس لوقت طويل توصف من قبل الفيزيائيين ككومات صغيرة وحيدة من المادة. وقد اشير الى ذلك من خلال التسمية ذاتها « جسيم » والتى كانت ترافق باستمرار كلمة « الكترون ». ان الجسيم فى نهاية الامر – ما هو الا نقطة مادية نيوتنية . هكذا كان اكثر الباحثين يفهم الالكترون. ويجب القول ان هذا الفهم فى اغلب الاحيان كان يعطى امكانية الامعان فى ظواهر هامة جدا وادراكها . وكنا قد تكلمنا عن بعضها حين تحدثنا عن القوى المغنطيسية الكهربائية فى تأثيرها .

هكذا وبالتدريج صار الجميع ينسون ان ميزات كثيرة فى « الصورة الكلاسيكية » للالكترون ظهرت كما يقال سلفا . لقد اعتدنا عليها . انها غدت للكثيرين شيئا بديهيا تقريبا والتخلى عنها تم بصورة مؤلمة جدا . ولكن ضرورة التخلى قد غدت اكثر وضوحا . واكثر فأكثر كانت تتراكم الحقائق التى تقول بان النظرية الالكترونية الكلاسيكية اذ تؤدى فى عدد من الحالات الى وصف نوعى جيد ، ليست معصومة فى الوقت نفسه من الخطأ ، حين يجرى الحديث عن الوصف الكمى . وبالاضافة لذلك ، فان هذه النظرية كانت تؤدى فى بعض الاحيان الى نتائج غريبة متناقضة الظاهر . نذكر مثلا قضية اشعاع الموجات المغنطيسية الكهربائية من الاجسام الساخنة المذكورة اعلاه ، او المشكلة الاساسية فى بناء الذرة .

لقد صار اكثر وضوحا ان ثمة مراجعة جذرية للتصورات القديمة المثبتة ، على وشك الحدوث .

وها هو الفيزيائي الفرنسي الشاب ، حينذاك ، لوى دى برويل يطرح فى عام ١٩٢٣ الفكرة ، التى كانت غير عادية ومتناقضة الظاهر لدرجة أن عددا غير قليل من الناس تقبلوها بالاستهزاء . لقد قدم دى برويل الفرضية التى بموجبها يجب ان يملك الالكترون وجميع الجسيمات الاخرى خواصا موجية الى جانب الخواص الجسيمية . وبتعبير آخر ، ان تلك الحالة التى نشأت بالنسبة المغنطيسية الكهربائية انتقلت الى جميع اشكال المادة بلا استثناء . ان المشككين لم يسخروا طويلا . ولم يمض سوى قليل من الوقت حتى اعترف بوجود الخواص الموجيّة لدى الالكترون اكثر الحكام ثقة ــ التجربة .

لقد ثبت بان الالكترونات وهى تنعكس عن البلورة تسلك سلوك الموجات المتأدبة تماما .

ان التشكيك بوجود الخواص الجسيمية والموجية لدى المادة فى اى مظهر لها بات امرا غير ممكن .

ودخلت الى العلم الفكرة المسماة بالثنائية (Duality) الموجية الجسيمية . فما هى الثنائية الموجية الجسيمية اذن ؟ ان « الثنائية » تعنى حرفيا ثنائية ، وحدة خاصيتين . وتظهر لدى الضوء ولدى الالكترون خواص تزيل احداها الاخرى ، وهى خواص الجسيمات (Corpuscula) والموجات . الا يمكن للالكترون ان يكون (سنكون دقيقين عند الحديث عنه) فى آن واحد جسيما وموجة ؟ ولكننا تحدثنا لتونا عن تنافر هذين الكائنين !

وكما يبدو ، علينا ان نجيب : نعم ، لا يمكن . وهذا يعنى ؟..

هذا يعنى ، اننا حين قلنا الكترون ، موجة ، جسيم ، قد اعترفنا على هذا الاساس ، انه لا يعتبر على وجه التدقيق ، لا هذا ولا ذاك ـ لا يعتبر جسيما بالمعنى العادى للكلمة ، ولا موجة . (وهذا يمس الفوتون ايضا) . فجميع الجسيمات ـ اذا اردنا ، هى كينتاورسات * فى عالم الدقائق .

واذا كنا نستعمل على كل حال « موجة » و « جسيم » فانه يجب فهمها بمعنى ان الالكترون يمكن ان يوصف بشكل تقريبى . وماذا يعنى « بشكل تقريبى » ؟

علاقة اللامحققية ـ عندما يقولون « جسيم » ، « نقطة مادية » ترسم فى المخيلة كومة من مادة موجودة فى مكان معين (فى لحظة معينة من الزمن) وتتحرك بسرعة معينة . وبلغة مألوفة اكثر للفيزيائيين هذا يعنى ، انه يمكن تعيين احداثيات وسرعات (او دفعات ـ حاصل ضرب الكتلة فى السرعة) الجسيم بدقة مطلقة .

وحين قلنا ان الالكترون يمكن ان يعتبر كنقطة مادية ، بشكل تقريبى فقط ، كان قصدنا ان الاحداثيات والنبضات (الدفعات) يمكن ان تكون معينة بشكل تقريبى فقط وببعض الخطأ . وكمية هذا الخطأ تعين بواسطة علاقة اللامحققية المشهورة لجيزنبرج . وتعكس علاقة جيزنبرج حقيقة هامة وهى : كلما كان الدفع او النبض مثلا معينا بدقة اكثر يكون بالتالى الخطأ اكبر فى تعيين الاحداثيات . وسيكون من الملائم كتابة هذا على شكل علاقة بسيطة . لنرمز للامحققية الاحداثية من خلال Δx ومن خلال

---

* الكينتاورسات ـ Kentauros ـ مخلوق خرافى لدى اليونانيين القدماء نصفه رجل ونصفه حصان ـ المترجم .

Δp للامحققية التى يعطى بها النبض عندها نكتب علاقة اللامحققية على الشكل التالى :

$$\Delta p > \frac{h}{\Delta x}$$

حيث h — ثابت بلانك .

وهناك علاقة مشابهة تربط عدم دقة الطاقة واللامحققية بالفاصل الزمنى الذى تجرى خلاله العملية :

$$\Delta E \geq \frac{h}{\Delta t}$$

لقد حصلنا على علاقات اللامحققية دون نتيجة مفصلة . وستتطلب منا نتيجة كهذه التوغل فى اعماق نظرية الظواهر الدقيقة ، ولسنا بحاجة الى ذلك الآن .

موجات الاحتمالية — وهكذا ، فالجسيم فى ميكانيكا الكم — ليس كرية عادية ، حتى ولو كانت من اصغر الصغائر حجما . وهو لا يملك فى آن واحد قيم معينة للاحداثيات والدفعات ، فهو يتمتع بخواص موجيّة .

فما هى اذن تلك الموجات ؟ يجب التوقع انها لا تستطيع ان تكون من موجات الميكانيكا الكلاسيكية ، كالموجات الصوتية مثلا . فالموجة المرتبطة بالالكترونات او بالفوتونات لا تتألف من مجموعة جسيمات . ولقد تم الحديث عن هذا سابقا .

اذن هل يمكن ان يكون الجسيم نفسه مكونا من موجة ؟ او يمكن ان تكون المادة المكونة للالكترون موزعة فى الفراغ على شكل موجة : تشكل حزمة ما موجية ؟

لا ، هذا ليس كذلك ايضا . فالموجة عندما تلتقى بعائق

تنقسم الى حزم منفصلة لا تتجمع معا مرة اخرى . اما الالكترون فانه لا ينقسم فى اية ظروف كانت ويبدو صحيحا على الدوام .

ان الحل للمشكلة ، ذلك الحال الذى لم يكن يتوقعه الفيزيائيون جميعا ، اوجده ماكس بورن : الموجة المرتبطة مع الالكترون ليست بموجة مادية عادية فى الفيزياء الكلاسيكية . انها موجة الاحتمالية ! وسعة الموجة (بالضبط — مربع السعة) لا تعين كثافة مادة الالكترون فى مكان محدد فى الفراغ بل احتمالية ايجاد الالكترون فى هذا المكان اذا اجرينا التجربة المناسبة . اننا نصطدم فى عالم الدقائق بشكل عجيب مع القوانين الاحتمالية لحركة جسيمات معزولة .

وفى عالم الاجسام الكبيرة تعمل قوانين ميكانيكا نيوتن ، التى تعين بمدلول واحد التفاصيل الصغيرة جدا لسلوك الاجسام . اما الالكترون والجسيمات الاولية الاخرى ، كما تبين ، فتسيرها قوانين اخرى . وهذه القوانين لاتملى على الالكترون سلوكا وحيد المدلول . مثلا اذا كان الالكترون يمر طائرا خلال شق ما ، فاننا لن نستطيع تحديد ما اذا كان الالكترون سيتجه الى اليمين ام الى اليسار . فقط يمكن ايجاد القيمة القياسية لاحتماليات هذه الحوادث .

ان اكتشاف القوانين الاحتمالية (الاستاتية) للجسيمات الاولية المنعزلة — واحدة من اعجب النتائج التى حصل العلم عليها يوما ما . كان من المعتقد حتى الآن ان القوانين الاستاتية تهتم فقط بوصف جمل تتألف من اعداد كبيرة من الجسيمات .

ونحن طبعا نفهم جيدا ان الوقائع غير العادية الى هذه الدرجة تتطلب حديثا تفصيليا اكثر بكثير . ولكن هدفنا ، كما نوهنا عدة مرات سابقا — الحديث عن القوى فى الطبيعة ، لا عن قوانين

الحركة . لذلك سنعود الآن الى علاقة اللامحققية وسنتوقف عند البعض من نتائجها التى تلفت النظر .

بعض النتائج — قبل كل شيء سنحاول تبديد الحيرة التى لابد وانها قد بدت لدى الكثيرين . اذا كان قد خصص لكل جسيم ، لكل قطعة من المادة ، صفات موجية ، فلماذا لا نجد تلك الصفات لدى الطاولة التى نجلس خلفها ، ولدى الكتاب الذى نقرأه ، وعموما لدى كل من الاشياء التى نلتقى بها باستمرار ؟

الجواب بسيط : لانها ثقيلة . كتلتها عظيمة — و ، يعنى ، عندما تكون لامحققية السرعة ضئيلة جدا ، فان لامحققية الاحداثيات تعتبر عمليا مساوية للصفر . وقطعة المادة ، يمكن اعتبارها ، لا تقريبا بل بالضبط ، جسما لا يكشف عن اية خواص موجية .

وفى حالة الكتل الصغيرة فقط ، اى عندما يكون موضوع البحث الجسيمات الاولية المنعزلة (او مجموعات غير كبيرة منها) فان اللامحققية تصبح مبدئية ولايجوز تجاهلها .

لا يجوز تجاهل ان مفهوما ما كالمسار يفقد معناه : لا يجوز اعطاء الموقع والسرعة فى آن واحد .

واختصار القول ، لا يجوز تجاهل حقيقة اساسية : الوصف النيوتنى للحركة يصبح غير ممكن . وهذا يكتسب اهمية خاصة بالنسبة لنا من الناحية التالية : ان تعريف « القوة » يعتبر ، كما نوهنا ، صارما فقط فى ميكانيكا نيوتن . واذا كنا قد اقتنعنا بان الوصف النيوتنى للحركة مستحيل فى عالم الدقائق ، فانه يجب ان نستخلص النتيجة المنطقية والحتمية التالية : يجب ان نتخلى عن القوى كمقياس للفعل المتبادل .

ماذا يبقى اذن ؟ تبقى طاقة الفعل المتبادل . لقد تبين ان

الطاقة (وهنا يظهر عمق وعمومية قانون حفظ الطاقة) اكثر من القوة ثباتا وهى تأخذ على عاتقها حمل كل الثقل لدى وصف الافعال المتبادلة التى تحدث فى الظواهر الدقيقة .

مبدأ اللامحققية والكتاب على الطاولة — هناك الكثير جدا من الظواهر المختلفة ، التى تساعد على فهم العلاقة بين اللامحققية ، علما بانه يمكن فهم ذلك دون التعمق فى آلية الظواهر ودون التطرق للتفاصيل ودون فهم طبيعة بنية المادة والقوى الفاعلة داخلها . اليكم على سبيل المثال موضوعنا القديم والمناقش بالتفصيل — موضوع الكتاب الذى لا يسقط مخترقا الطاولة . هنا يبرز سؤال — لماذا ؟

فور افلات الكتاب من ايديكم ، يبدأ بالسقوط تحت تأثير الجاذبية الارضية . وفى الطريق يصادف الطاولة . عندها تبدأ ذرات الطاولة بالانقباض وتقترب الالكترونات من نويات الذرات ويبدأ التركيز فى احجام اقل. وحسب مبدأ اللامحققية تتضاعف دفعاتها وبالتالى تزداد الطاقة . فتظهر حينئذ قوة تعيق حركة الكتاب الى الاسفل .

وان مقاومة الذرات للانضغاط — كما يقول فينمان بهذا الخصوص — ليس مفعولا كلاسيكيا بل هو ميكانيكى كمى . وحسب المفاهيم الكلاسيكية كان يجب ان نتوقع لدى اقتراب الالكترونات من البروتونات نقصا فى الطاقة ، لان اكثر الاوضاع راحة للشحنات السالبة والموجبة فى الفيزياء الكلاسيكية — هو عندما يمتطى احدهما الآخر . كان هذا معروفا للفيزياء الكلاسيكية وكان يشكل لغزا : ان الذرات كانت موجودة على كل حال ! كان العلماء يبتدعون طبعا مختلف الطرق للخروج من المأزق فى ذلك الحين ، الا ان الطريقة الصحيحة (وهذا ما نأمله) اصبحت معروفة لنا فقط .

الفعل المتبادل وكرة الطائرة — مع ظهور نظرية الكم ، تغير

ليس مقياس الافعال المتبادلة وحسب — بل ان آليتها ايضا رأت نفسها امام عالم جديد . وتذكرون كم بحثوا طويلا وبدأب عن وسيط فى الافعال المتبادلة للاجسام . فهذه الابحاث ادت فى نهاية المطاف الى اقرار مفهوم المجال — المجال المغنطيسى الكهربائى خاصة . وكما تحدثنا للتو ، فان الثنائية الجسيمية — الموجية تضطرنا للبحث عن ملامح المتقطع فى المتواصل . وللحقل او المجال وجه جسيمى ايضا . ومن وجهة النظر الجسيمية ، يمكن ادراك تأثير الفعل المتبادل ايضا . واذا كنا نقول فى السابق ان شحنة واحدة تشكل مجالا يؤثر على شحنة اخرى ، فلدينا هنا الاساس لكى نتحدث عن ذلك كما يلى: تنبعث من الشحنة الاولى الكمات ، اى الجسيمات الوسيطة التى تمتصها شحنة ثانية — وهذا التبادل بالجسيمات الانتقالية باعتباره آلية للفعل المتبادل هو « ترجمة » للصورة الكلاسيكية السابقة الى « لغة الكم » . واذا كان تأثر الاجسام بعضها ببعض يتطلب فى السابق الاتحاد بخيوط ما ممدودة بين بعضها البعض ، فمن الملائم جدا الآن ان نتصور شيئا ما شبيها بلعبة كرة الطائرة بين الجسيمات .

غير ان الوصف الحديث للفعل المتبادل ليس مجرد صب خمر معتق فى قرب جديدة . ان التفسير الكمى يكشف عن طبقات كاملة من الامكانيات الجديدة . وسترى ادناه ان هذا هو انقلاب حرفى فى فهم الفعل المتبادل . ولكن قبل الحديث عن الامكانيات الجديدة سنعود لدقيقة واحدة ، الى بداية كتابنا . هل تذكرون النقاش حول التأثير عن قرب والتأثير عن بعد ؟ منذ زمن ليس بالبعيد نسبيا — فى بداية القرن الماضى — كانت ضرورة البحوث ذاتها عن « وسيط » للفعل المتبادل شيئا مشكوكا فيه . وبعدها دخل

الى العلم مفهوم المجال كحامل للفعل المتبادل . ولكن المجال تراءى لوقت طويل كوسيط بديل ـ حقا كانت عميقة تلك الهوة التى تفصل بينه وبين المادة « الحقيقية » الموصوفة فى قوانين ميكانيكا نيوتن . واخيرا ، خطونا خطوة اخرى هامة جدا : اقتنعنا بان الوسيط ليس مادة تتمتع بطاقة ، ودفع والخ .. وحسب ولكن يمكن ـ بنفس الحق الذى لدى المصادر التى يجرى الفعل المتبادل معها ان يعتبر بمثابة جسيمات . اذن لم تظهر اية هوة . فالذى يؤثر والذى يحمل التأثير تمثلا امامنا كنخالة عادية ، وفى نهاية الامر ـ ك « جسيمات » اولية . وعلامات الاقتباس حول كلمة « جسيمات » هى التى تذكرنا بذلك الطريق الهائل ، الذى قطعه العلم من الوصف النيوتني للحركة ، حتى ظهور فكرة الثنائية الموجيّة ـ الجسيمية .

ترى ، بأية امكانيات جديدة نبشر ؟

لنسأل انفسنا ، هل يمكن ابقاء نقل الفعل المتبادل حكرا على جسيمات المجال المغنطيسى الكهربائى ؟ الا يجوز للجسيمات الاخرى (او لمجموعاتها) ايضا ان تأخذ على عاتقها القيام بدور حوامل الفعل المتبادل ؟

ان الفكرة تبدو ممتعة ومفيدة جدا ـ وسنعود اليها مرة اخرى ، وخاصة فى الفصل القادم ، اما الآن سنلمس فقط مسألتين هامتين .

الوجه الجديد للشحنة ـ ان اولى المسألتين تسمى بالشحنة . صديقتنا القديمة ـ الشحنة الكهربائية . وكلما كانت هذه اكبر ، يكون تأثيرها اقوى على الجسيمات المشحونة المحيطة . وهذا يعنى « بلغة الكم » انه كلما كانت الشحنة اكبر ، يبعث المصدر كمات ـ ناقلات للفعل المتبادل إلى جميع الجهات بشكل اكثر .

وهذا يعني أنه يمكننا القول ، ان الشحنة تعتبر مقياس لنشاط وشدة (او امتصاص) المصدر للكمات البينية او الوسيطة .

واذا كانت هذه الاخيرة ــ كمات مجال مغنطيسي كهربائي ، فان الشحنة المطابقة ــ كهربائية . الا ان الكمات الوسيطة ، كما رأينا ، تستطيع ان تكون جنيمات اخرى . ومن هنا ينتج ان من الضروري ادخال انواع اخرى من الشحنات . ان لكل نوع من الوسطاء ــ شحنته وثابت ارتباطه .

وهذه هي اهم نتيجة !

وبمراجعة جدول الجسيمات الاولية ، نستطيع ان نجرب بالتناوب ، هل هذا الجسيم (او مجموعته ملائم) للدور الوسيط ام لا . ان المقاييس هنا تنحصر في عدم التصادم مع قوانين حفظ الطاقة . الا ان الطبيعة تضع محظورات اضافية ، لذا فان ذلك التعداد الكبير لانواع الفعل المتبادل غير موجود في الواقع ، كما يمكن ان نتوقع للوهلة الاولى . وعدد الضروب الممكنة « للشحنات » غير كبير جدا . وخاصة فان مهمة كتابنا تقتصر على فرز جميع الضروب المعروفة . وسنعود الى هذا الموضوع وبشكل تفصيلي في فصل الافعال المتبادلة الضعيفة .

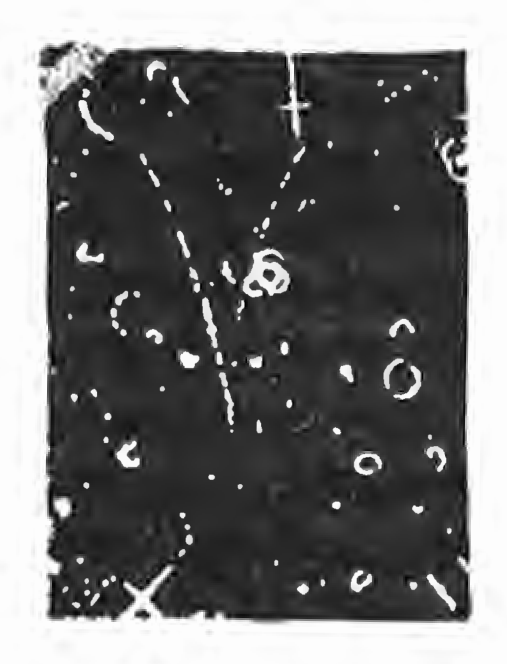
التجسيد في العالم اللانهائي الصغير ــ ان الحديث عن الشحنات المختلفة جعلنا نمس موضوعا ، هو بحد ذاته ذو اهمية عظيمة . لقد كتبنا اعلاه وبعدة اسطر : ان الجسيم (جرى الكلام عن الجسيم ، الناقل للفعل المتبادل) ينبعث من مصدره . لكن ماذا يعني « ينبعث » ؟ لا يجوز ابدا ان نتصور الامر يجرى وكأننا فتحنا باب قفص واطلقنا منه طيرا . فان الجسيم لم يكن موجودا داخل المصدر قبل الانبعاث ، وهو لم يكن محفوظا في اى صندوق

خفى . الفوتون لا يختبىء فى الذرة ــ انه يولد ، يبرز فى فعل الاشعاع .

انه يولد !

وبالتالى ، هل ظهور (او فناء) الجسيمات ممكن ؟ نعم والى هذه النتيجة بالضبط ادت بنا سلسلة الابحاث . ولكن نستعجل فى النتائج ؟ الا يمكن ، ان يكون الفوتون ــ شذوذا ما جسيما غير عادى ؟ (ليس من العبث استحالة بناء ما يسمى بالمعنى اللغوى العادى ، مادة ، من الفوتونات) .

ان شكوكا كتلك كانت ترتكز على اساس ما حتى عام ١٩٢٧ العام الشهير الذى ظهرت فيه للفيزيائيين اعمال العالم النظرى الانكليزى الشاب ديراك . وقد بدأ من نقطة ، حاول معها ان يسجل معادلة حركة الالكترون . وهذه المعادلة توجد فى علاقة مع متطلبات النظرية النسبية . انها تبدو كمهمة شكلية من النظرة الاولى .



انه سرعان ما اتضح (بالحقيقة كانت هناك احتكاكات ودفعات من ناحية التجربة) ان عمل هذا ممكن فقط بغرض انه يوجد للالكترون « توأم » ــ جسيم شبيه له بكل شيء، ولكنه ذو اشارة شحنة معاكسة . وقد اكتشف ذلك الجسيم فعلا فى حجرة ولسون، وسمى بزترون وهذا الجسيم المأخوذ بمفرده مستقر تماما كالالكترون ــ ولو

يستطيع العيش طويلا جدا غير ان النظرية تنبأت بأن الالكترون والبزترون يجب أن يفنيا (يبادا) فور التقائهما ، مولدين فوتونات ذات طاقة عالية (كمات – γ) . ويمكن ان يجرى تفاعل عكسي – ولادة زوج الكتروني بزتروني * . عند تصادم (γ) ذو طاقة كافية مع النواة مثلا .

يترك هذا الزوج فى حجرة ولسون الموضوعة فى المجال المغنطيسى ، اثرا مميزا على شكل شوكة ذات قرنين .

والالكترون ، ذلك الجسيم « الاكثر قدما » ، المادة الاكثر اهمية من اجل بناء عدد لانهائى من الذرات ، لقد اتضح بان ذلك الالكترون الموثوق به والمجرب ، هو شيء غير ابدى . كان باستطاعته الفناء! كان باستطاعته الظهور ! وهذا ما هز الفيزيائيين – بعد ان اكدت التجربة بصورة بارعة تنبؤات النظرية – واثار (حسب تعبير احد العلماء النظريين المشهورين) احساسا هائلا بالتوفيق » .

وربما منذ زمن بعيد ، لم تكن النظرية على هذه الدرجة من القدرة الهائلة ، كما لم تكن كل أسرار الطبيعة سهلة الحل الى هذه الدرجة أيضا .

ان ابحاث ديراك تحتل بالفعل مكانا نادرا فى علم الفيزياء الحديث . وليس من العجيب ان يحاط اسم صاحب تلك الابحاث ، بهالة خاصة .

لقد تبين ان فكرة الجسيم ومضاد الجسيم هى فكرة مثمرة

---

* من الواضح ان الالكترونات لا يمكن ان تولد بصورة مفردة على سبيل المثال ، ولو لسبب واحد فقط ، هو انه لو حدث ذلك لاختل قانون حفظ الشحنة ، اى لكان ذلك مخالفا لقانون حفظ الشحنة .

بشكل خارق للعادة . والتوائم وجدت لدى جميع الجسيمات (توجد في الحقيقة بعض الحالات الاستثنائية مثل الفوتون حيث يتطابق الجسيم ومضاد الجسيم) . وتم تجريبيا اكتشاف مضاد البروتون ومضاد النترون الخ . ونعلم الآن ان ولادة الازواج والفناء هما عمليتان ليستا وقفا على الالكترونات والبزترونات .

هناك شيء آخر اصبح ايضا مفهوما . ان الافعال المتبادلة ، اى فناء بعض الجسيمات وظهور البعض الآخر ، تجرى ، ليس بشكل حتمى ، عن طريق ولادة ازواج من الجسيمات ومضاد الجسيمات وفنائها . ان التفاعلات بين الجسيمات الاولية (الاصطلاح مقتبس عن الكيميائيين ، وهو موفق جدا) متنوعة للغاية . ولكن يمكن ادراك الملامح العامة فيها ايضا ويذكرنا تصادم الجسيمات بصدم القداح فى الصوان . « القداح » — هو جسيم — آلة ، تتمتع بطاقة هائلة . ويمكن ان تخدم الجسيمات او مجموعة الجسيمات كنشان او « صوان » . فالصدمة « تقدح » جسيمات جديدة — « شرارات » . لانها تحطم الصوان والقداح . وكلما كانت الصدمة اقوى ، تتشكل « شرارات » اكثر — جسيمات — ويصل عددها احيانا الى عدة مئات . والآن تجمعت مادة كبيرة تجريبية عن ولادة الجسيمات . وجميع هذه المعطيات تزيل جميع الشكوك : الجسيمات (جميعها دون استثناء) تظهر وتفنى .

ظهور ؟ فناء ؟ ولكن الا يناقض هذا اكثر قوانين الطبيعة اساسية — قانون حفظ المادة ؟ هل يمكن ان تستحيل المادة الى عدم ، وان تنشأ من العدم ؟

طبعا لا نؤكد شيئا من هذا القبيل . فى الربيع عندما تتغطى اغصان الاشجار العارية فى الحقل بالبراعم ، ومن ثم بالاوراق

وفى الخريف تتدلى منها الثمار — هل يدور بخاطر احد ما ان يرتاب فى وجود تناقض ما مع قانون حفظ المادة ؟ ان البراعم والاوراق والثمار لاتظهر « من العدم » . فامامنا هنا احدى الحلقات اللانهائية من التعاقب الازلى والتحولات المتبادلة للمادة فى الطبيعة . اننا نلتقى بتحول المادة من شكل الى آخر (مع عدم التشابه فى المظهر الخارجى ، والغرابة العميقة بين الحالتين) حين ندرس ظاهرتى ولادة وزوال الجسيمات . فهنا يمكن الحديث ايضا عن تحول المادة من شكل الى آخر .

عند دثور (Annihilation) الالكترون والبزترون تتحول المادة من الشكل البزترونى الالكترونى الى الشكل المغنطيسى الكهربائى . طبعا لا يوجد هنا اى « فناء » . فالشحنة تصان هنا (وفى جميع العمليات الاخرى) وكذلك الطاقة والدفع والخ . وهذا يبين مرة اخرى ضرورة النظر الى هذه الظواهر كتحول بالضبط .

البيّن والمكتون — ان كل ما قيل يشير الى فكرة مفادها ان المادة يجب وصفها كشىء موحد ، واعتبار الجسيمات على انواعها كمظاهر مختلفة لهذه المادة الموحدة . طريق مغر ! ولكن بالرغم من المحاولات التى تجرى لاحداث نظرية عامة كتلك ، فان الحديث عن النجاح الجذرى ما يزال صعبا. وحتى الآن لانملك بين ايدينا امكانية ان « نبنى » جسيمات . لذا سنضطر بالاكتفاء ، كما يقال ، بالوصف السطحى . ووصفنا الآن يذكر بما يصير اليه الاختصاصى فى علم النبات ، والذى يدرس حياة النبات من خلال بعض الصور : فى الاولى — حبة ، وفى التالية — فرخ نبات ، وبعدها — وردة ، واخيرا حبة ايضا . سيستوعب هذا الاختصاصى بثبات انه توجد حالات مختلفة من النباتات — حب وفرخ نبات

ووردة . وسيعرف كذلك ان احدها يلي الآخر بتتابع معين . وسيسمح له كل هذا بالحديث عن قانونية التحوّلات . ولكن هيهات للصور ان تمكنه من تحديد الديناميك الداخلي للظاهرة .

وتوجد امام الفيزيائي ايضا سلسلة من « الصور » . وهي التي اطلقنا عليها ببعض التحفظ اسم الجسيمات الاولية . وتبرر هذه التسمية باننا لانعرف اليوم شيئا (او تقريبا لانعرف شيئا) عن بنية هذه الجسيمات . فجميعها تدخل الى النظرية كشيء ما مأخوذ من التجربة مباشرة . وطبعا لا يجب فهم هذا بالمعنى الضيق جدا : فهنا لا تدخل قيم الشحنات والكتل واللف الذاتي وغيرها وحسب ، بل وتفصيلات دقيقة من قوانين الحركة . وهذا الوضع ليس صدفة ، فالنظرية تنشأ على ارضية التجربة . والتجربة بملامحها العامة تبدو هكذا : في جهاز التسجيل (يمكن ان يكون حجرة ولسون ، او اسطوانة تصوير ، او مجموعة عدادات الخ) . نرى اثرا او بعض الآثار لحزم جسيمات بدائية . وكل التفصيلات القريبة من الفعل المتبادل مخفية عن المراقب فهو يكتشف فقط نتيجة الفعل المتبادل : ايضا على شكل آثار جسيمات ثانوية . لاشك بأن كل ذلك لا يتسع في هذا المخطط البسيط ـ فبعض الوجوه المؤثرة لا تملك شحنات ولاتعطى حتى آثارا . الا اننا ادركنا الاساس رغم كل شيء : التجربة تقدم فقط معطيات غير مباشرة ، يجب بواسطتها كشف صورة الفعل المتبادل .

اليست هذه المقارنة جريئة للغاية ؟ ـ بما اننا لانرى الافعال المتبادلة نفسها ، بل فقط نتيجتها ـ تحول بعض الجسيمات الى آخر (او الى ذاتها ، ولكن ، في حالة اخرى) تظهر نزعة طبيعية ـ

ونضيف ، مبررة بالتمام — نحو عكس هذا الوضع فى النظرية . وكنتيجة لتلك النظرية تنشأ صورة فيزيائية ، يخصص المكان المركزى فيها للجسيمات ، كشيء ما معطى مباشرة بالتجربة . ولكى نشرح فكرتنا هذه سنتصور وكأننا لا نعرف اى شيء عن البنية الجزيئية للمواد. وعندها فان اذابة الجليد تلك المهمة التى تظهر لنا الآن سهلة ، ليست هكذا . كان يمكن للباحثين ان يدرسوا وبالتفصيل خواص الجليد وخواص الماء . ان يدرسوها تجريبيا . وكان يمكنهم حتى ان يسموا الجليد « جوهرا اوليا » معينا ، والماء — « جوهرا اوليا » آخر . ثم صياغة قانون هو : عند شروط معينة (عند ضغط وحرارة معينين) يتحول الجليد الى ماء .

يتحول — ولكن كيف ؟ بسبب اية تغيّرات داخلية خفية ؟ ان هذا لا يتضح بدون صورة جزيئية . وها هم علماؤنا يجدون انفسهم فى تلك الحالة ، التى قلنا انها لا تعطى الامكانية لفهم الديناميك الداخلى للعملية . وختاما يجب القول ان القضية الاساسية تنحصر فى اننا لا نعرف بنية الجسيمات الاولية ، اى قوانينها الداخلية . وهذا يدفعنا لكي نتقبلها الآن جاهزة ، كما يقال ، ونفسر تنوع العمليات فى عالم الدقائق كفناء الجسيمات « الجاهزة » وولادة الجديد منها .

لاداعى للظن ان مسلكا كهذا هو مسلك ردىء جدا . فالفيزيائيون — قصاصو الآثار المجربون افلحوا فى حل رموز الآثار وادراك التأثيرات المستمرة للجسيمات بشكل دقيق جدا ونحن الآن لسنا قادرين على ادراك وفهم قوانين حركة الجسيمات الحرة وحسب ، بل ونعلم الكثير عن فعلها المتبادل . وهو ، كما قيل سابقا ، يتلخص ، حسب التصورات الحديثة ، فى ان الجسيم يتبادل او يتراشق مع

الجيران بكمات المجال الوسيط ، اى انه يتراشق بجسيمات ايضا ولكنها ذات طبيعة اخرى .

وتتحدد طبيعة الكمات المنبعثة والممتصة من قبل الجسيم ، بالمقدار الذى يمتلكه هذا الجسيم من الشحنة . فاذا كان مشحونا كهربائيا ، « يسمح » له ببعث وامتصاص فوتونات ، واذا كان لديه ما يسمى بشحنة نووية (سيأتى الحديث حولها) يسمح له بميزونات ـ π ، والخ * .

وكل فعل بعث او امتصاص كهذا ينقل الجسيم من حالة الى اخرى .

الفعل المتبادل مع الفراغ ـ لقد قلنا بان الفعل المتبادل ـ هو نتيجة لوجود جسيم يبعث كمات ، وجسيم آخر يمتصها . ولكن هل يمكن لجسيم ان يمتص كمات بعثها هو نفسه ؟ ولم لا ـ طبعا يمكن .

ان تلك العمليات تقتصر على الفعل المتبادل للجسيم مع نفسه . يتحدثون احيانا عن هذا بشكل آخر : يتكلمون عن الفعل المتبادل للجسيم مع الفراغ . ومع ان هذه العبارة تبدو بشكل متناقض فى الظاهر ، فهى مبررة تماما . وحين نقول تأثير ذاتى ، فاننا نقصد انه يوجد تأثير ما على الجسيم ، حتى عندما يكون لوحده ، دون ان يكون فى جواره اى جسيم حقيقى . وبتعبير آخر ، عندما يكون فى كل مكان ـ فراغ ، خواء .

يخصص الآن للفراغ مكان مرموق فى الفيزياء . وتتقش فى

---

* هذا لا يشير اى اصطدامات مع قانون حفظ الطاقة : طول زمن التفاعلات Δt قليل جدا ، وبالتالى فان « انتشار » الطاقة يجب ان يكون حسب علاقة اللاحتمية هائلا .

الكتب عبارات مثل « استقطاب الفراغ » ، « التصحيحات الفراغية » ، « الاهتزازات الفراغية » وكثير غيرها . بعد ان كان الى زمن قريب يعتبر الحديث عن « خواص الفراغ » تصرفا غير منطقى . اية « خواص » يمكن ان تكون لمكان فارغ ؟ ان الخواص — شىء ما خاص بالمادة . وهناك حيث لا توجد المادة ...

قف ! فها هنا يتوارى جذر القضية . ماذا يعنى « لا توجد مادة » ؟

سنجيب : « اى ، ببساطة لا يوجد اى جسيم » . ان الامر ليس بهذه البساطة ! وفى الربيع عندما يبدأ العشب بالنمو ، كيف سنجيب على السؤال : هل العشب موجود ام لا يوجد بعد ؟ وعندما يكون النبات قد اخضر ، عندما تكون افراخه قد خرجت من الارض — عندها قد تكون الاجابة : موجود . وقبل هذا ؟ وعندما لا تكون الافراخ قد نبتت بعد ، اى ما تزال تمارس « التواجد تحت الارضى » ؟

بعد هذا السؤال سيعلن المشاركون الوهميون معنا فى النقاش بانفعال ، اننا نخاوض الفلسفة الكلاميّة ، حين نناقش ما يسمى « بالعشب » وما هو « ليس بعشب بعد » انهم محقون فى شىء ما . ولكن فى شىء آخر لا . اننا نرى العشب الذى ينبت ، وندركه باعضاء حواسنا مباشرة وحيث لم ينبت فرخ النبات بعد ، فان العين ترى حقلا اجرد — « فراغ » ايضا ، خواء بمعنى ما .

اننا لم نستعمل هذا التشبيه بارادتنا ، ففى نظرية الجسيمات الاولية يفهم الفراغ لا ك « عدم مطلق » بل كحالة خاصة بجميع الجسيمات ، حيث تملك طاقة صغيرة لا ترى ليس بالعين المجردة وحسب بل بالاجهزة الدقيقة ايضا . ولكن الجسيمات الفراغية « تشعر » بتأثير الجسيمات « الحقيقية » وبشكل ما تعيد التجمع تحت

تأثيرها (وهذا يؤدى بالمناسبة الى افعال ملموسة تجريبيا) . واذا كان التأثير فعالا فان الجسيم ينتقل من « الحالة الفراغية غير المرئية » الى الحالة الحقيقية العادية . ويبدو هذا من الخارج كولادة جسيم . وهكذا بالضبط يمكن ان نعتبر فناء الجسيمات كانتقال الى الحالة الفراغية .

ان طريقة الوصف هذه ليست ممكنة وحسب بل هى طبيعية تماما في النظرية الفراغية ، لانها تسمح انطلاقا مما قيل اعلاه ودون التطرق الى الديناميك الداخلى ، بشرح عمليات ولادة ودمار الجسيمات ، وذلك باعتبارها كتحولات من حالة الى اخرى ، (وفى الحقيقة تبدو احدى هاتين الحالتين غريبة بعض الشيء) . ان الفيزيائيين بادخالهم التصور عن الفراغ وبنائهم « نظرية الفراغ » حققوا نجاحات كبيرة ليس فقط فى ضبط جهازهم النظرى ، بل والاهم طبعا من ذلك ، فى شرح الوقائع التجريبية ايضا . وبدقة اكثر من السابق تحسب الآن مستويات الطاقة في الذرات ، وقد اوجدت تصحيحات جوهرية فى قيم العزوم المغنطيسية للالكترونات ... الخ .

ولا ريب بانه لا يوجد اى غموض فى التصورات عن الفراغ الفيزيائى . كل ما فى الامر فى نظرية الكم للمجال المغنطيسى الكهربائى انه لا يمكن ان توجد فى آن واحد قيم محددة لجهد المجالين المغنطيسى والكهربائى من جهة وعدد محدد من الفوتونات من جهة اخرى . لذلك فاذا كان عدد الفوتونات مساويا للصفر - ويدعى هذا بالحالة الفراغية للمجال المغنطيسى الكهربائى - فان جهود المجالات ليست صفرية بل هى غير معينة ، وعليه فاننا لانستطيع اعتبار الفراغ شيئا ما دون خواص معينة .

ان الفراغ الفوتونى يؤثر على الجسيمات المشحونة . زد على ذلك ان تأثيره ليس وحيدا ابدا . وهذا مثال يمس هذه المرة الفراغ البزترونى الالكترونى . فبسبب التشتت الكمى ايضا للطاقات ، يمكن ان تولد ازواج افتراضية بزترونية الكترونية ، ثم تندثر بسرعة فائقة . لان المجال المغنطيسى الكهربائى للجسيمات المشحونة يثير توزيع هذه الازواج الافتراضية . وهذا يذكر بتأثير المجال على توزيع الشحنات فى ذرات المواد ، بحيث يسبب الاستقطاب ، كما هو معروف . وقياسا يقال « استقطاب الفراغ البزترونى الالكترونى » وبالتالى يجرى الحديث عن انحجاب الشحنة ، المكونة للمجال .

ان استقطاب الفراغ والفعل المتبادل للمجال المغنطيسى مع الفراغ يؤديان الى تصحيحات فى قيم طاقة الالكترونات الذرية ، الخ . والنظرية تتفق تماما مع التجربة فى حدود دقة الاخيرة . وهذا ما يدفعنا للاعتراف بحقيقة التأثيرات الفراغية . غير ان الوضع ليس موفقا الى حد بعيد . فالطاقة الذاتية للالكترون (وكتلته) الناشئة من الفعل المتبادل (التأثير الذاتى) للمجال المغنطيسى الكهربائى مع الفراغ كبيرة جدا . النتيجة طبعا غير منطقية وتقبض النفس . وثمة نتيجة اخرى ليست اقل سخافة : ان استقطاب الفراغ البزترونى الالكترونى يجب ان يؤدى الى حجب كامل للشحنة .

واذا كان الأمر هكذا ، فكيف ننجح فى الحصول على نتائج نهائية متوافقة مع التجربة حين نأخذ التصحيحات الفراغية بعين الاعتبار ؟

ويمكن الوصول الى هذا بمساعدة ما يسمى بـ « فن اعادة المعايير » للشحنة والكتلة ، الذى يسمح لنا بان نفصل من القيم

اللامتناهية فى الكبر أقساما محدودة ـ معتمدة على الحالة المعنية ـ بصورة متطابقة تماما مع التجربة .

ان جميع الاختلافات الناشئة فى نظرية الكم للتأثيرات المغنطيسية الكهربائية ، مرتبطة فقط بالكتلة والشحنة . لذا يمكن مناقشة المسألة هكذا ؛ مادمنا لانقدر على حساب التصحيحات الفراغية للكتلة والشحنة فاننا لا نستطيع حساب m و e نظريا ، غير ان قيمها التجريبية معروفة بشكل جيد . واذا وضعنا قيم تجريبية لـ m و e فى الجواب الاخير لاى حساب ، مكان تلك القيم اللانهائية والتى حصلنا عليها نظريا ، فان جميع الحسابات ستكون متناهية . وهذه الطريقة لاستخلاص القيم النهائية من اجل المقادير الفيزيائية تسمى عادة باعادة المعايير .

ومما تجدر الاشارة اليه ، أن احد مخترعى فن اعادة المعايير وهو فاينمان ، يقول بان كل هذه العملية ما هى الا « قذف القذارة تحت السجاد » . وواضح هنا انك لن تقوم الاوضاع بتدابير وسطية . والمفهوم الجديد عن طبيعة الجسيمات الاولية سيلزمنا بان نعيد النظر فى الكثير مما يبدو الآن وكأنه مألوف وطبيعى .

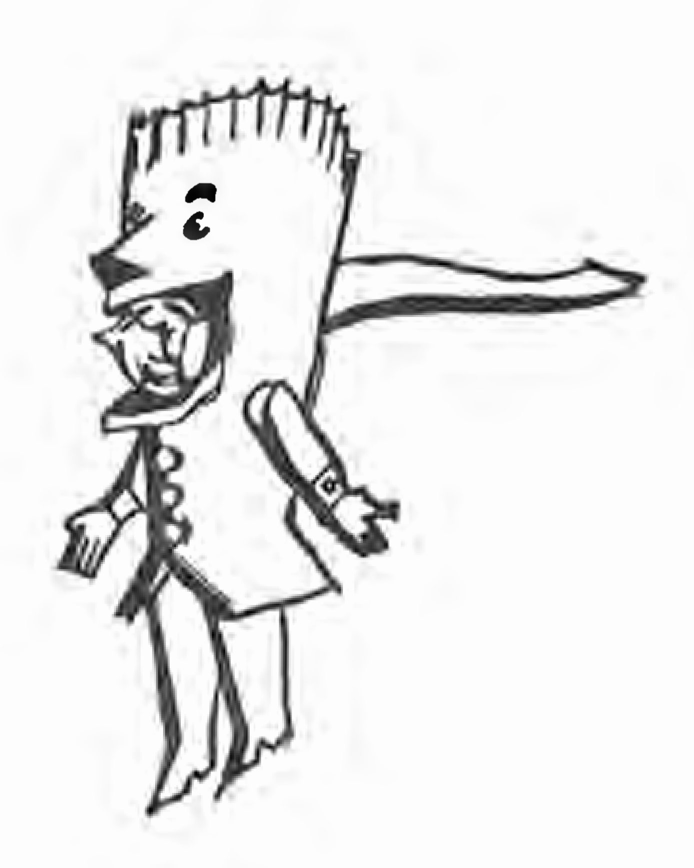
اما الآن ... ما يزال يرتسم « الفراغ » امامنا كمحيط يملأ كل مكان ، وفيه تظهر الجسيمات بغتة هنا وهناك مثل « الغيلان » . ويمكن اعتباره كمحيط مجهول ، لا نهائىّ العمق .

وللتوغل اكثر من ذلك قليلا فى اعماق هذا المحيط ، سوف لا تكفينا حاشية كهذه ولا فصول كاملة ولا حتى كتاب جديد بكامله .

الفصل الخامس

القوى النووية

تلاحمت القوى الجبارة
في عوالم الكون ...
وظهرت بشائر الحياة
في روعة وافتتون ...
كراتسوف « الكلمة العظيمة »



١ – النواة والجسيمات الاولية

على حدود المجهول – نواة الذرة ..... الطاقة النووية ..... عصر الذرة ..... هذه المصطلحات وعشرات المصطلحات الاخرى التى تتعلق بشكل او بآخر بكلمة « نواة » تملأ صفحات الجرائد والكتب والمقالات العلمية وتثير اهتمام الناس تاركة بهم الفزع والامل . وبكل جرأة يمكن القول انه لم تلعب اية اكتشافات علمية هذا الدور العظيم بالنسبة لكل البشرية كالاكتشافات التى تمت فى مجال الفيزياء النووية . حتى الناس البعيدين عن الفيزياء لا يستطيعون ان ينظروا الى تلك الاكتشافات دون اكتراث .

وفى الوقت نفسه تظهر امام الباحثين مجالات مجهولة بكاملها . وكيف يكون ذلك ممكننا ؟ يسأل القارىء بحيرة ! ان العلماء السوفييت منذ زمن بعيد شغلوا أول محطة كهروذرية . وتقوم الآن محطمة الجليد الذرية بتحطيم الحقول الجليدية الواسعة ، لقد اصبح وجود العلماء النوويين ضروريا فى مختلف مجالات الحياة – من التعدين الى انتاج وصناعة زينة شجرة رأس السنة. كيف يمكن لعلم كهذا ان يحتل مكانا عظيما وهاما فى الوقت الذى يوجد فيه بعض الغموض ؟ بالطبع لا يوجد فى ذلك أى شيء غير مألوف .



اننا الآن نوجد تقريبا فى نفس وضعية البناء الذى يستطيع ان يشيد العمارة من الحجارة ، ولكنه لا يفقه من خواص هذه الحجارة شيئا ، وربما له فكرة غامضة حول كيفية تحضير تلك الحجارة . واحيانا فى هذه الحالات يقال اننا درسنا بعض الصفات ، ولكننا لا نعرف الجوهر . ان هذه العبارة على الارجح غير لائقة بحالتنا هذه ، الا انها تعكس الحالة التى تقر بأننا لا نستطيع ان نشرح بشكل موحد مجموعة من المعطيات العملية . ولا داعى ان ندهش لذلك . ان الفيزياء النووية تضع مسائل ترتكز حولها على السؤال الاساسى ــ السؤال حول بنية الجسم بشكل عام . اى حول الجسيمات الاولية فى نهاية المطاف . ويسمونها احيانا (ومرة اخرى تخطر بالبال نفس المقارنة) بحجر الاساس للكون . وها نحن نبدوا فى نفس حالة كارل لينى : اننا لم نبتعد كثيرا عن حدود علم التصنيف . حول بنية « تركيب » تلك الجسيمات الاولية ، وحتى القصد من كلمة « أولية » لا يزال مجهولا عمليا. وتمر هنا الحدود عبر المجال المجهول . الحدود غير المستقرة ، التى تتعرض لغزو عنيف ، ولكن لم يتم يتجاوزها بشكل كاف من قبل أى انسان . على اية حال ان الفيزياء النووية لا تقع فى وضع خاص .

ومن المفيد ان نفكر مليا باية مشكلة وسرعان ما نصطدم بسلسلة من الاسئلة « لماذا » التى لا محال أنها ستقودنا الى المجالات غير المعروفة . ليس عبثا كما يقال ، ان الانسان حين يدرس مسألة ما فلابد له وان يمر بشكل متواصل عبر ثلاث مراحل : الاولى ــ « كل شىء مفهوم » ، الثانية ــ « كل شىء غير مفهوم » والاخيرة ــ « بعض الشىء مفهوم » .

يهم تتركب النويات ! ــ ومع ذلك لماذا تجبرنا دراسة نواة

الذرة ان نعرف الجسيمات الاولية ؟ ولكن حينما نهتم مثلا بحركة الكواكب ، التى تتكون فى نهاية المطاف من الجسيمات الاولية ، اننا لا نستطيع الا نتوقف خصيصا على ذلك .

ان السبب واضح جدا : ففى نويات الذرات تكون الجسيمات قليلة الى درجة بحيث لا يمكن ايجاد المعدل الوسطى لصفات كل منها على حدة ، لا يمكن قياسها ، وهى على العكس تلعب الدور الاساسى .

هذا يعنى ، على الرغم من اننا فى نهاية المطاف نريد بناء البناية يتوجب علينا ان نبدأ من الحجارة . وهذا مهم لنا ، فبدون معرفة تركيب النويات لا يمكن التحدث عن القوى النووية الداخلية . ومرة اخرى تضعنا هنا الفيزياء النووية امام موقف جديد . وبالفعل فان قوى الجاذبية والقوى المغنطيسية الكهربائية لم تتطلب هذا الحديث المفصل حول كيفية بناء وتركيب اجزاء المادة المشاركة فى التفاعل .

ان « نواة المادة » فريدة فى نوعها الى حد انه لا يمكن فصل سؤال « ماذا يتفاعل » عن سؤال « كيف يتفاعل » .

قالت فتاة صغيرة ان الارجوحة الشبكية عبارة عن « مجموعة من العقد المترابطة بالحبال » .

وبهذا الشكل يمكننا التحدث عن الكثير . والذرة مثال على ذلك . فهى تتكون ايضا من « عقد » — النويات والالكترونات ومن « حبال » — المجالات الكهربائية ، التى تحافظ على تماسك الجسيمات الاولية . وأثناء الاجابة عن السؤال « مم تتركب الذرة » لم نتطرق الى هذه المجالات الكهربائية وفقا للعادة التى جرت بان نعزل مفهوم « ماذا » يتعلق ، تاركين فى الظل مفهوم « كيف » يتعلق (وهذا بجذوره يدخل فى علم الميكانيكا) . ولكن الحالة

بالنسبة للنواة تتغير بشكل جذرى . فهنا « العقد » بحد ذاتها غير مفصولة لحد ما عن « الحبال » . ولهذا لنتذكر ما قالته الفتاة الصغيرة عن الارجوحة الشبكية . والآن يجب ان يكون واضحا للقارىء ، لماذا يجب ان نبدأ بالحديث عن تركيب النويات بينما المسألة الرئيسية هى التحدث عن القوى .

معروف لدى علماء الفيزياء عشرات الانواع من الجسيمات الاولية المستقرة الى حد معين . انها تتميز بكتلتها الخاصة وبالشحنات الكهربائية وبخواص اخرى ، وكما هو معروف ، بالخواص الداخلية . فاختيار مواد البناء لنويات الذرات يبدو لاول وهلة كافيا . لنتصور امامنا جدولين — جدول للنويات وآخر للجسيمات الاولية * . فاذا تساءلنا عن الكتلة فيمكن القول ان اخف نوية هى نوية الهيدروجين ** . انها اثقل بـ ١٨٣٦,١٢ مرة من الالكترون وتملك شحنة مساوية له بالكمية ولكن معاكسة له بالاشارة . (شحنة موجبة (. ومن بين الجسيمات الاولية يقع واحد منها — البروتون — الذى يتميز بنفس تلك الخواص . هذا يعنى اننا استطعنا ان نحل رموز بنية احدى النويات ، لكننا لا نستطيع ان نصل الى تلك النتيجة بهذه السهولة مع النويات الاخرى . فالعنصر المجاور الهيدروجين فى جدول مندلييف الدورى يعتبر الهليوم . ان نوية الهليوم أثقل من الهيدروجين تقريبا باربع مرات (اننا الآن لن نتحدث عما يسمى بالنظائر) . ربما تتكون من اربعة بروتونات ؟

---

* ان تحديد الرقم لا معنى له ، لان معيار « الاولى » نفسه لم يفسر بشكل كامل لحد الآن .

** ان كتلة الذرة بشكل عملى تنطبق مع كتلة النوية : وحصة الالكترونات فى احسن حال تشكل حوالى ٠,٥٪ .

جدول الجسيمات

	اسم الجسيمات	الرمز: الجسيم	الرمز: مضاد الجسيم	الكتلة	كمية التحرك الذاتى الزاوى للجسيم الاولى (سبين)
	الفوتون	γ	γ	0	1
الليبتونات	نترينية الكترونية	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	1/2
	نترينية ميزونية	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	1/2
	الكترون	e^-	e^+	1	1/2
	ميو – ميزون	μ^-	μ^+	206.7	1/2
الميزونات	ميزونات – π	π^0	π^0	264.1	0
		π^+	π^-	273.1	0
	ميزونات – K	K^+	K^-	966.4	0
		K^0	$\bar{K}^0$	974.1	0
	ميزونات – η_0	η_0	η_0	1074	0
الباريونات	البروتون	p	$\bar{p}$	1836.1	1/2
	النيوترون	n	$\bar{n}$	1838.6	1/2
	هيبرون – Λ	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2184.1	1/2
	هيبرونات – Σ	Σ^+	$\bar{\Sigma}^0$	2327.6	1/2
		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2333.6	1/2
		Σ^-	$\bar{\Sigma}^0$	2343.1	1/2
	هيبرونات – Θ	Θ^0	$\bar{\Theta}^0$	2572.8	1/2
		Θ^-	Θ^-	2585.6	1/2
	جسيمات – Ω^-	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3373	3/2

ملحوظة : ان قيم كل من كتلة وكمية التحرك الذاتى الزاوى وكذلك الجسيم، فهى معاكسة لاشارة او علامة شحنة الجسيم ومساوية لها من

الشحنة الكهربائية	فترة البقاء او العمر (بالثواني)	النواتج الاساسية للانحلال او التفكك
0	مستقرة	
0 0 -1 -1	مستقرة مستقرة مستقرة 2.2×10^{-6}	 $e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$
0 1 1 0 0	0.8×10^{-16} 2.6×10^{-8} 1.23×10^{8} $K_S^0,\ 0.86 \times 10^{-10}$ $K_L^0,\ 5.38 \times 10^{-8}$ 10^{-17}	$2\gamma,\ \gamma + e^+ + e^-$ $\mu^+ + \nu_\mu$ $e^+ + \nu_e + \pi^0$ $\mu^+ + \nu_\mu,\ \pi^+ + \pi^0$ $3\pi,\ \mu^+ + \nu_\mu + \pi^0$ $\pi^+ + \pi^-,\ 2\pi^0$ $\pi^0 + \pi^+ + \pi^-,\ \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ $\eta_0 \rightarrow \gamma + \gamma$ (35.3%) $\eta_0 \rightarrow \pi_0 + \pi^0 + \pi^0$ او 31.8% $\eta_0 \rightarrow \pi^0 + \gamma + \gamma$ $\eta_0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ (27.4%) $\eta_0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \gamma$ (5.5%)
1 0	مستقر 960	$p + e^- + \bar{\nu}_e$
0	2.5×10^{-10}	$p + \pi^-,\ n + \pi^0$
1 0 -1	0.8×10^{-10} 10^{-14} 1.49×10^{-10}	$p + \pi^0,\ n + \pi^+$ $\Lambda^0 + \nu$ $n + \pi^-$
0 -1	3.03×10^{-10} 1.66×10^{-10}	$\Lambda + \pi^0$ $\Lambda^0 + \pi^-$
-1	1.3×10^{10}	$\Omega^- \rightarrow \Theta^0 + \pi^-$ $\Omega^- \rightarrow \Theta^- + \pi^0$ $\Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-$

فترة بقاء مضاد الجسيم، هي نفسها بالنسبة الجسيم ايضا. اما شحنة مضاد
حيث القيمة المطلقة.

كن عند ذلك توجب ان تكون شحنته الكهربائية اكبر من شحنة
روتون باربع مرات ايضا ، ولكن فى الحقيقة شحنته اكبر بمرتين
ط . هل يمكننا ان نتخلص من تلك المشكلة ، بفرض انه فى
وية ما عدا البروتونات توجد جسيمات اخرى مشحونة بشكل
الب وتوازن الشحنة « الزائدة » ؟ واذا افترضنا ان لهذه الجسيمات
لاضافة لذلك كتلة غير كبيرة فالمسألة تكون قد حلت . ان هذه
لامكانية تبدو لاول نظرة مغرية لا سيما وان الجسيم الملائم -
و الكتروننا المعروف .

... ولكن لماذا هب النظريون والمجربون معا ضد النموذج
لالكتروني - البروتونى ؟ لقد كانت حججهم مقنعة بشكل كاف .
لمو ان الالكترون جسيم خفيف جدا . وستتعرف على ذلك
لتفصيل .

والآن ... وفجأة سنقتنع حينما ننظر الى جدول الجسيمات
لاولية بانه لاداعى للكلام حول « الاختيار الواسع » . وكأننا نختار
يئا ما من لا شىء ! بيد ان الجدول يحوى عمودا : « فترة البقاء » .
مى تقع فى حدود واسعة جدا : من الف ثانية عند النترون حتى
نم خيالى ٠,٨ × ١٠^-١٦ عند الجسيمات التى تسمى بالميزون -
π . وبعد « فترة البقاء » تتحلل تلك الجسيمات متحولة الى جسيمات
خرى .

ولكن الذرات ، وهذا يعنى نواها (نفس نواة الهليوم مثلا)
تحلل فى حد ذاتها ، ومن الصعب ان نجبرها على ذلك . انها
ستقرة . ويبدو انها تتركب من جسيمات مستقرة فقط . ولكن
ممن الجسيمات الاولية لا يوجد اى جسيم يمكن ان يعيش بشكل
مستقر عدا البروتون ومضاد البروتون (باستثناء الجسيمات الخفيفة

التى كما ذكرنا يمكن ان تتعايش فى النواة) . الى اى نتيجة توصلنا ؟ من البروتونات وحدها لا يمكن ان تتكون النوية ــ هذا واضح لنا ، اما الجسيمات الباقية فاما ان تكون خفيفة جدا لكى تكون اجزاء من النويات ، واما غير مستقرة . ولكن اين المخرج ؟

حول التفكير السليم ـ يجب ان نقول بكل جرأة انه لولا ميكانيكا الكم لكنا مكتوفى الايدى تماما امام الالغاز التى تعطيها النواة (النوية) . فهنا السلطة والهيمنة بكل معنى الكلمة « للميكروفيزياء» مع ما يبدو لنا فى اكثر الاحيان متناقضا ظاهريا ، من وجهة نظر تصوراتنا حول عالم الاشياء الكبيرة . ان حدسنا النفسى المبنى على الوضوح الكلاسيكى نادرا ما يصبح صديقا وصاحبا للباحث العلمى بل هو عدو له دائما .

لنأخذ حتى الحالة التى نوهنا عنها اعلاه ، اى ان الجسيمات الاولية ــ الالكترونات على اية حال لا يمكن ان تكون اجزاء مكونة النواة . فالنظرية الكلاسيكية لا تستطيع ان تعلل او تشرح اى شىء . فلو تذكرنا (علاقة اللامحققية) لاصبح من السهل فهم تلك المسألة .

ان النويات تملك ابعادا صغيرة جدا . ولقد اثبتت التجارب المتعددة ان هذه الابعاد تشكل واحد من المائة مليارد من المليمتر ، هذا يعنى ما يمكن اعتباره لا محققية ابعاد الجسيمات النابضة داخل النواة . وهذا يسمح لنا فورا ان نحدد لا محققية النبض ومنه نستطيع تحديد السرعة لان كتلة الجسيم معروفة لدينا .

ولنخطو خطوة اخرى الى الامام : لو تذكرنا ان الطاقة الحركية تساوى نصف حاصل ضرب الكتلة بمربع السرعة ، بذلك نستطيع ان نجد التبعثر فى قيمة الطاقة ، ومن السهل ان نتأكد من ان

ان هذا التبعثر يتناسب عكسيا مع كتلة الجسيم اما بالنسبة للجسيمات الثقيلة ، البروتون مثلا ، فان التبعثر صغير نسبيا ولكنه بالنسبة للالكترونات يتزايد بألفى مرة تقريبا ، ويصبح اكثر بكثير من طاقة الاتصال في النواة المعروفة من التجارب، اى تلك الطاقة التى تتبادل بها الجسيمات النابضة داخل النواة . ولكن اذا كانت طاقة الاتصال اقل من الطاقة الحركية ، وهذا يعنى ان قوى الفعل المتبادل غير كافية للحفاظ على بقاء الجسيمات فى النواة . فسرعان ماتغادر النواة بعد تغلبها على قوى الفعل المتبادل . اذن حتى اذا استطاع جسيم خفيف ان يقع لسبب ما فى النواة فان عوامل الطاقة كافية وحدها للبرهان على ان هذا الجسيم لا يستطيع البقاء هناك .

مرة اخرى حول التركيب ـ اذا يجب البحث عن مواد بناء النويات فقط بين الجسيمات الثقيلة . ان عدد هذه الجسيمات كثير اذا لم نأخذ بعين الاعتبار البروتون المعروف لدينا جيدا : من بين هذه الجسيمات فى الجدول المعاصر قبل كل شيء يعتبر النترون ومجموعة كبيرة من الجسيمات المسماة « هيبرونات » * .

بشكل عام يمكن القول ان الهيبرونات تستطيع ان تدخل في تركيب النواة . ونتيجة لذلك تتشكل النويات الهيبرونية الملاحظة تجريبيا . الا ان جميع الهيبرونات لا تعيش اكثر من جزء من عشرة ملايين من الثانية .

---

* سوف لن نتحدث عن مضادات البروتونات ومضادات النترونات ومضادات الجسيمات. واثناء لقاء الجسيم مع جسيم مضاد (بروتون مع بروتون مضاد مثلا) ـ وهذه المقاءات لابد وان تحدث فى الطبيعة ـ سيحدث ما يسميه الفيزيائيون « بالاندثار » . ان كلا الجسيمين يفنيان متحولين الى جسيمات جديدة . وان النواة الحاوية على الجسيمات ومضادات الجسيمات لا يمكن ان تكون أبدية بسبب الاندثار.

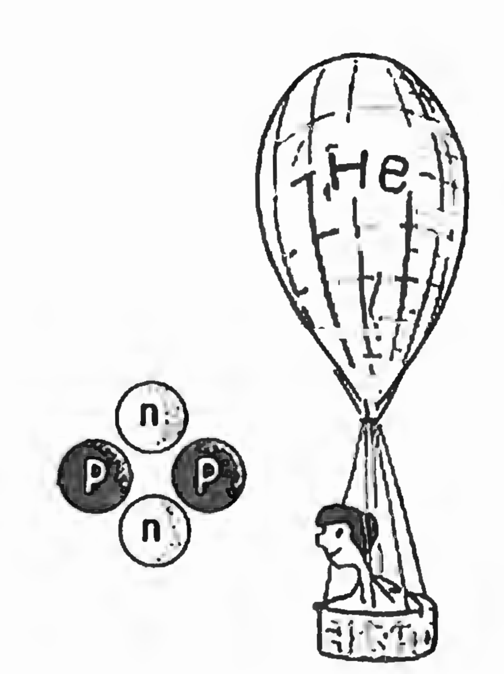
بقى فى حوزتنا جسيم واحد احتياطى – النترون ، ان علماء الفيزياء يعرفون النترون منذ زمن بعيد : ولقد تم اكتشافه على يد العالم الشاب جادفيك فى مختبر رزرفود عام ١٩٣٢ .

فالنترون لا يملك شحنة كهربائية . وكتلته تساوى كتلة البروتون (البروتون كما ذكرنا اثقل بـ ١٨٣٦ مرة من الالكترون ، اما النترون فاثقل بـ ١٨٣٩ مرة ، اى الفرق بينهما بسيط) .

النموذج النترونى – البروتونى – الجسيم الحيادى الثقيل (النترون) – الا يدخل بالاضافة الى البروتون فى بنية النويات ؟ فنواة الهليوم مثلا تملك شحنة اكبر بمرتين من شحنة البروتون ، اما كتلتها فهى أكبر من كتلة البروتون تقريبا باربع مرات ، فاذا افترضنا انه يوجد فى هذه النواة بروتونات ونترون فاننا نكون قد توصلنا الى المطلوب . اننا نحصل على نتائج ممتازة كذلك لباقى نويات العناصر الاخرى . ليست الشحنة والكتلة وحسب وانما كل الخواص الاخرى ستتطابق بشكل جيد مع التجربة . ان النترون يلعب دورا نشيطا كجسيم نووى لدرجة انه على الاقل فى دولتين – الاتحاد السوفييتى (ايفانينكو ، جابون) وفى المانيا (جيزنبرج) ، حالما ظهرت معلومات حول تجارب جادفيك ، تمت صياغة الافكار الاساسية للنموذج البروتونى – النترونى للنواة فى البلدين المذكورين . ان النموذج معترف به فى الوقت الحاضر .

ولكن كيف يمكن ان نوفق بين استقرار النويات من ناحية وبين عدم استقرارية النترون من ناحية اخرى ؟ ولكن النترون (بالنسبة للجسيمات الاخرى يبدو مستقرا جدا) . ولكن لا يمكن بهذا الشكل البسيط ان لا نأخذ بعين الاعتبار بأن النترون يتحلل بعد ١٦ دقيقة من وجوده . كيف يمكن تفسير الواقع الذى لا يمكن

تغيره ، وهو ان عشرات الانواع من النويات تعيش اكثر من ١٦ دقيقة والقسم الاكبر منها — بدئ ؟



الثابت في المتبدل — الاستقرار... ولكن ماذا تعني هذه الكلمة ؟ ان سطح الماء الهادىء في البحيرة ساكن وكذلك يبدو الشلال ، المتساقط من الصخور ، متبلورا ساكنا . ولكن وراء السكون والاستقرار الذى يبدو هنا وهناك تختفى حركة مكثفة . تتطاير الجزيئات بشكل مستمر من سطح الماء — يجرى التبخر . وبنفس الوقت تجرى العملية المعاكسة — فالجزيئات المتبخرة يلتقطها الماء . فاذا كانت تيارات الجزيئات المتلاقية متساوية ، فان مستوى الماء لا يتغير . تجرى عملية الحفاظ على التوازن ، بالاضافة لذلك ، الى الشلال الساقط تضاف كل حركة الماء ، ولكن يهيمن هنا ايضا التوازن ، لان محل كل نقطة ذاهبة من الماء تأتى بدلا منها واحدة اخرى تحل محلها ... وهكذا .

اذن الاستقرار ، التوازن ، لا يعنى بتاتا الانعدام الكامل للحركة . فالمهم فقط ان يضمن طابع هذه التحركات التجليلي المستمر للمجموعة . في هذه الحالات نتحدث عن التوازن الديناميكي المتحرك . ولكن هل يعتبر استقرار النواة هذا استقرار ديناميكيا ؟ واضح انه لا يوجد احتمال آخر .

على حساب اى شىء يمكن ضمان التوازن الديناميكى ؟ على ما يبدو ان النترون اثناء وجوده داخل النواة يصبح مشاركا العمليات التى بسببها لا تعود عدم استقراريته تلعب اى دور ؟ ولكن ما هى هذه العمليات ؟

٢ ـ كيف يتحقق التفاعل المتبادل النووى

المقارنة التى غالبا ما سنعود اليها ـ لنبدأ من المثال الذى يسترعى اهتمامنا والذى يستعمل لايضاح الديناميكية التى تجرى داخل النواة . لنتصور مثلا ان شخصين يحملان حملا ، ولنفرض ان هذين الشخصين لا يستطيعان حمل هذا الحمل بنفس الوقت ، ولنفرض ان هذا الحمل ثقيل جدا لدرجة ان احد الشخصين لا يستطيع ان يحمله لفترة طويلة . ولا يجوز لاحد منهما ان يضع الحمل على الارض او ان يستريح . واذا وقع الحمل من اليدين فان رفعه مستحيل . وانه لو لا وجود الشخص الثانى لاستطاع الشخص الاول عاجلا ام آجلا ان يسقط الحمل (تخطر بالبال هنا فورا المقارنة بالنترون الذى سيتفكك عندما يكون لوحده) . ولكن يستطيع الشخصان ان يحملا الثقل متبادلين اياه عندما يحل التعب باحدهم .

الا يحدث فى النواة شىء مشابه لذلك ؟ ان الفكرة التى تقول بان وجود البروتون الى جانب النترون هو فقط الذى يساعد على

استقرار الاخير ، وتأتى بلا ارادة الى خاطر الانسان حين يفكر بسبب انحلال النترون الحر المأخوذ على حدة ويسلك فى النواة سلوك الجسيم المستقر .

واخيرا لو اننا اجرينا مقارنة مع مثالنا اعلاه لاتضح لنا على الفور ، من يلعب دور « الحمل » الذى يتبادله البروتون والنترون ؟ كل شىء يرتكز على قوة الفعل المتبادل — يجب ان نتوقف هنا وان نفكر باتقان : ما هى التصورات الموجودة لدينا لصالح المقارنة التى اجريناها ؟ لم نعتبر بشكل حتمى ان النترون والبروتون يتبادلان شيئا ما ؟ واخيرا ، كيف يمكن تفسير طبيعة هذا « الشىء ما » ؟

والآن قد توصلنا للحظة المناسبة لكى نتذكر « تفصيلا ليس كبيرا » : ليست الجسيمات موجودة فى النواة وحسب وانما ملتحمة مع بعضها بشكل متين . ان « استقرار » النترونات شىء قليل — يجب ان نعلل استقرار كل النويات ، وعلى ما يبدو ان هاتين المشكلتين مشتبكتان مع بعضهما بشكل متين .

وهكذا بدأنا بشكل مباشر بحل مسألة قوى الفعل المتبادل فى داخل النواة . لقد شاهدنا اثناء دراستنا صورة الفعل المتبادلة فى نظرية الكم فى الصفحات التى مررنا عليها اعلاه ، ان هذه الصورة تذكرنا بلعبة كرة الطائرة . فالجسيمات تتبادل فيما بينها بواسطة كمات المجال الوسيط . ومن وجهة النظر هذه فان الفعل المتبادل للبروتونات والنترونات داخل النواة يجب ان يتحدد ويتعين بقذف وتبادل جسيمات ما ، وهى الجسيمات الناقلة للفعل المتبادل .

ان هذه اللوحة الفيزيائية واضحة جدا . لنتذكر ولو مثالنا المذكور : شخصان ومعهما حمل ثقيل . ولكى يستطيع هذان

الشخصان ان يحملا هذا الحمل الثقيل يتوجب عليهما طيلة كل الوقت ان يتبادلا هذا الحمل بالتناوب . ولكن ذلك يتطلب ان يكونا باستمرار بقرب بعضهما البعض. ان ضرورة (وامكانية) التبادل تقرب وتربط . وكل شيء سيبدو للانسان المراقب من بعد وكأن قوى التجاذب تعمل وتؤثر .

ان هذه المقارنة بالطبع مثلها مثل اية مقارنة اخرى يجب ان تخدم بشكل اساسي هدفا واحدا : ان تكون الصورة واضحة . الا ان هذه الصورة بحد ذاتها تستطيع ان تكون مفتاحا لفهم جوهر الظاهرة بشكل اعمق . ومن جديد يتبادل الى الذهن سؤال عن « الجسيمات الوسيطة » التي تثبت النواة . فما هي هذه الجسيمات ؟ وما هي خواصها ؟

الميكانيكا الكلاسيكية والنواة — وهنا سنضطر مرة اخرى ان نقول من جديد : دون نظرية الكم لن نستطيع ان نفهم شيئا من هذا الامر وبالفعل لنتصور لدقيقة بأن النواة تعيش حسب قوانين الفيزياء الكلاسيكية . لنتوقف ولو على النواة البسيطة — على الديتون . انها تتركب من بروتون واحد ونترون واحد . وها هما واقعان قرب بعضهما بشكل متبادل ، اى انهما يتبادلان جسيمات ما . ولكن هيهات هيهات ان تمنع الميكانيكا الكلاسيكية هذا دون رحمة . وبالفعل لكي يبدأ الفعل المتبادل فلابد لكل جسيم ان يقذف (ان يشع كما يقول الفيزيائيون) وان يمتص جسيمات . ان قوانين حفظ الطاقة والنبض أو الدفع* فى اطار الميكانيكا الكلاسيكية تمنع حدوث اى نوع من انواع الاشعاع (يجب التفريق بين

* فمثلا لا يستطيع الالكترون الحر ان يمتص (وان يبعث) موجات مغنطيسية كهربائية .

اشعاع وانحلال الجسيمات . فى حالة اشعاع النترون لجسيمات ما ، سنرمز لها بالحرف A ، والعملية ستجرى حسب المعادلة :

نترون ← نترون + A

بمعنى آخر ، ان النترون يوجد قبل وبعد التحول)

وواضحة جدا حالة الكتلة . ولو ان البروتون (او النترون) اشع جسيما ما لكان واضحا انه سينقل معه قسما من الكتلة . سنسبق الحوادث وسنجد فى الجدول كتلة ناقلات الفعل المتبادل داخل النواة ، اننا نستطيع ان نطرح هذه الكتلة من كتلة البروتون ونقتنع بان الباقى لا ينطبق على كتلة اى من الجسيمات الموجودة فى الجدول . انه تناقض ظاهرى جلى ! بالفعل ان البروتون او النترون بعد اشعاع جسيم متوسط (واقع بين جسيمين) لا يستطيع ان يتحول الى شيء لا وجود له .

ان هذا التناقض الظاهرى ليس وحيدا . على وجه التدقيق ان كل الظواهر فى داخل النواة متناقضة ظاهريا بشكل مطلق اذا نظرنا اليها من وجهة نظر النظرية الكلاسيكية . اننا قبل ذلك اصطدمنا بمثل هذه التناقضات الظاهرية .

اننا سنحاول الآن ان نتفهم مسألة الجسيمات ـ الوسيطة منطلقين من المفهوم الكمى للحوادث الواقعة .

نتائج من ... اللامحققية ـ ان الاعتراض هنا على قانون حفظ الطاقة والدفع الذى يمنع البروتونات الواقعة فى داخل النواة ان تشع او تمتص ايا من الجسيمات والنترونات يفقد مفعوله . ولقد اشرنا الى ان احداثيات ونبض أو دفع وطاقة وفترة بقاء اى جسيم ، يدخل فى تركيب النواة ، لا يمكن ان تكون ذات قيمة محددة

فى آن واحد . ان التبعثر او كما هو معروف بلغة الفيزيائيين لامحققية الكم لهذه المقادير يزيح كل الصعوبات التى تواجهنا .

الا ان ذلك ليس كل شيء . يبقى التناقض الظاهرى مع الكتل . وهنا بشكل غير منتظر نقتنع ان ميكانيكا الكم لا تنقذ الوضع فقط ولكن فى اصعب الظروف تمدنا بالمصدر الثمين غير العادى للمعلومات الجديدة حول الكمات الناقلة للفعل المتبادل .

ولكن تعالوا نتحرك بشكل متسلسل بتأن وجرأة : امامنا حساب بسيط . اننا تحدثنا عن تبعثر الطاقة فى الجسيمات داخل النواة . لنوجه انظارنا حول بروتون ما . ولنفرض ان $\Delta\varepsilon$ هو تبعثر هذا البروتون . واضح ان طاقة الكم ــ الناقل للفعل المتبادل (نرمز لها بحرف E) يجب ان تدخل فى اطار هذا التبعثر . وهذا يسمح لنا بان نكتب :

$$\Delta\varepsilon = E$$

والآن علينا ان نأخذ بعين الاعتبار واقع واسع ومعروف اكتشفه اينشتين : بين الكتلة والطاقة توجد علاقة عامة وشهيرة . ويمكن صياغة هذه العلاقة على الشكل التالى : ان الطاقة تساوى حاصل ضرب الكتلة بمربع سرعة الضوء وهى تكتب كالتالى :

$$E = mc^2$$

والآن علينا ان نخطو خطوة اخرى الى الامام . ما معنى تبعثر الطاقة $\Delta\varepsilon$ ؟ تساعدنا فى الجواب على هذا السؤال علاقة اللامحققية . وكما نعرف فان علاقة اللامحققية مرتبطة بالزمن الذى يمر اثناء العملية على الشكل التالى :

$$\Delta\varepsilon = \frac{h}{\Delta t}$$

ما هو الزمن Δt ؟ من الواضح انه يمكن مساواته لزمن « قطع الطريق » للجسيم ــ الناقل للفعل المتبادل . انها الفترة الزمنية بين

لحظة اشعاع وامتصاص الكم اى ما يمكن ان نسميه حقا « زمن الفعل المتبادل » .

ولكن زمن قطع الطريق يساوى المسافة المقطوعة — l_0 مقسومة على سرعة الحركة .

يهمنا الآن التقييم الكيفى . لذلك يمكننا ان نفرض ان — l_0 تنطبق مع ابعاد النواة (أى ان كل كم يقطع النواة من طرف الى الطرف الآخر) وان السرعة تساوى سرعة الضوء عند ذلك نحصل على العلاقة التالية :

$$\Delta t = \frac{l_0}{c}$$

ليس صعبا ان نجد من المعادلة المكتوبة اعلاه كتلة « الجسيم — الناقل » :

$$m = \frac{h}{l_0 c}$$

حسنا ان كل المقادير التى تعبر عن m معروفة قديما من التجربة . فلو بدلنا قيمة ثابت بلانك h وابعاد النواة (الاصح كان علينا ان نقول : « نصف قطر الفعل المتبادل ») وسرعة الضوء — c ، سنجد ان الكتلة — m يجب ان تساوى تقريبا ٢٠٠ — ٣٠٠ كتلة من كتل الالكترون .

اننا نطلب المعذرة من القراء الكرام للحسابات القليلة التى قررنا اجراءها نظرا لاهمية النتائج التى حصلنا عليها .

لقد استطعنا ان نفسر تفاصيل هامة جدا للفعل المتبادل النووى واهمها :

١ — ان الفعل المتبادل يعتبر نتيجة للتبادل بين الجسيمات .

٢ — ان المسافة التى يظهر على امتدادها الفعل المتبادل (او

كما يسمونه عادة ، نصف قطر تأثير القوى) ، تكون اقل ، كلما كانت كتلة الجسيمات الناقلة للفعل المتبادل اكبر :

$$l_0 = \frac{h}{mc}$$

٣ ــ ان الفعل المتبادل يعتبر كما من نوعه (يوجد ثابت بلانك h) .

التعرف على الميزون يبدأ من النظرية ــ لقد توصل الى هذه النتائج الهامة ، لاول مرة ، العالم الياباني يوكاوا . فى ذلك الوقت كان جدول الجسيمات الاولية متواضعا جدا : الفوتون (كم المجال المغنطيسى الكهربائى) والالكترون والبوزترون والنترينو والبروتون والنترون . وهذا هو كل شىء . لقد ظهرت شجاعة يوكاوا العلمية الرائعة بانه اثناء تحليل الوقائع اعلن بشكل حاسم : يجب ان يوجد جسيم ما يختلف عن كل الجسيمات المعروفة ، له كتلة اكبر من كتلة الالكترون بمائتى مرة تقريبا . وهو الذى يفرض الفعل المتبادل فى داخل النواة .

لقد تحقق ما تم التنبؤ به بشكل رائع . ان الجسيم الذى سماه يوكاوا ميزون ، ليس واحدا ، وانما هو ثلاثة جسيمات بكتل متقاربة ، ولكنها مختلفة الشحنة (موجبة ، سالبة ، وحيادية) . وسرعان ما تم اكتشاف هذه الجسيمات تجريبيا ، وخواصها انطبقت بالضبط مع تلك الخواص التى اشترطتها النظرية . ان النظرية الميزونية للقوى النووية تفسر نواحى مختلفة للظاهرة .

التأثير قصير الامد ــ ان هذه القوى تؤثر على مسافات قصيرة جدا . اننا انطلقنا من ذلك ، بالحقيقة ، عندما اعتمدنا فى آخر المطاف على الوقائع التجريبية ، لدى بحثنا كتلة الالكترون .

ان هذا الشيء يحدث بشكل مشابه ، لو اننا قسمنا قطعة من الطباشير الى نصفين وحاولنا ان ندمج هذين النصفين ببعضهما . لماذا لا نستطيع ذلك ؟ ان الجزيئات فى مكان الكسر أبعد عن بعضها البعض بشكل « قليل جدا » مما هو فى داخل القطعة . وهذا يكفى عمليا لكى ينعدم الفعل المتبادل . ان ذلك ينعكس فى النواة بشكل اقل حدة .

ان الفيزيائيين يقولون ان القوى النووية قصيرة التأثير . يمكننا ان نقترب بشكل مباشر من النواة دون ان نشعر بهذه القوى على الرغم من ان الافعال المتبادلة ضخمة جدا وهى التى تعطى النواة الاستقرار .

أليس القوى النووية عظيمة ! ـ لقد ذكرنا اعلاه لتونا : انه داخل النواة تؤثر قوى كبيرة جدا وفى داخلها تحفظ طاقة هائلة جدا . لنحاول ان نقارن ذلك بشيء معروف لنا جيدا . هل يمكن ان نسمى الطاقة ، التى يفرزها الانسان عندما يعطس ، ضخمة ؟ بالطبع ، ستجيبون ، كلا . والعمل الذى نبذله من اجل رفع قطعة نقود من الارض قليل جدا ايضا . ان اى انسان منا يبذل كل يوم عملا اكبر من ذلك بكثير .

ربما لهذا يبدو مدهشا ان العمل فى امثالنا هذه اكبر بمليارات المرات من تلك الطاقة الضرورية لانتزاع الجسيم من أمتن وأقوى نواة . بمليارات المرات تصوروا !

ولكن لماذا يتكلمون عن الطاقات الضخمة جدا فى داخل النواة ؟ لماذا يجرى بنا وحدات المسارعات العظيمة التى تستهلك الطاقة اكثر من اى مدينة كانت ، والخاصة بانشطار النواة ؟ لماذا

كل هذا اذا كنا، حتى عندما نعطس ، سوف ننتج عملا كافيا للاخلال بالروابط داخل الكثير من النوى ؟

طبعا اصبحتم تفهمون اين يكمن السر ؟ فليس الضرورى هو المجموع العام للطاقة ولكن ذلك الجزء الذى يخص نواة واحدة او الذى يخص جسيما واحدا فى النواة . واثناء رفع قطعة النقود نمدها بطاقة اكبر بمليارات المرات من طاقة الاتصال فى النويات ، وحصة كل جسيم نووى ضئيلة جدا : اقل من واحد بالمليون من جزء المليون من طاقة الاتصال . حتى لو دفعنا هذه القطعة الى سرعات فضائية بعشرات الالوف من الكيلومترات فى الساعة ستظل الطاقة المتعلقة بهذه الحركة التى تخص جسيما واحدا اقل بمليارات المرات من الطاقة النووية الداخلية . ومن الصعب الحصول على « قذيفة » تستطيع تدمير النواة حيث يجب ان تكون لها طاقة كافية لتدمير النواة .

اثناء التفكير حول ما اذا كانت الطاقة الداخلية للنواة ضخمة ، واثناء اجراء المقارنة يجب ان نتذكر دائما ان الطاقة التى تخص جسيما واحدا هى المعيار الوحيد فى آخر المطاف .

لننهى نقاش هذه المسألة بما يلى : لنقارن الطاقة الكيميائية مع الطاقة الداخلية للنواة . ان هذه المقارنة تعطى نتائج قيمة للغاية : ان طاقة الاتصال النوعية فى النويات (اى التى تخص جسيما واحدا) هى اكبر من الطاقة الكيميائية النوعية بمليون مرة تقريبا . لذلك هل نستغرب من عدم امكانية تحويل عناصر الى عناصر اخرى باية طريقة كيميائية (اى جوهر الامر — تحويل النويات — لان تركيب النواة بالضبط هو الذى يحدد بنية الذرة وخواصها الكيميائية) ؟

نعم ان الطاقات المتمركزة فى النواة فعلا ضخمة . ان الافعال المتبادلة تثبت الجسيمات الواقعة فى داخل النواة بشكل وطيد جدا وحول ذلك يمكن ان نقول ايضا : لو (بالمقارنة مع الشحنة الكهربائية) ادخلنا الشحنة النووية (عادة لا يسمونها بالشحنة وانما ثابت الفعل المتبادل) لبدت هذه الشحنة اكبر بكثير من الشحنة الكهربائية .

وقائع جديدة ، نتائج جديدة — اثناء حديثنا عن التأويل الميزونى للافعال المتبادلة النووية لم نذكر مجموعة كاملة من الاوضاع التى تكمّل الصورة التى رسمناها بشكل جذرى . بعد ان تنبأ يوكاوا بالجسيم الجديد — الميزون ، اخذ المجربون بكل ما فى وسعهم يبحثون عنه . ان هذا البحث بحد ذاته يشكل شيئا ما هاما للعلم . ويكفى القول انه فقط اثناء هذا البحث تم اكتشاف خمسة جسيمات بكاملها . لاثنين منها كتلة اكبر من كتلة الالكترون بـ ٢٠٧ مرات ، ولاحدهما شحنة موجبة وللآخر سالبة ، وسميا بميو — ميزون (ويرمز لهما بـ μ^{+} , μ^{-}) . اعتبرت هذه الجسيمات لمدة طويلة بأنها ميزونات يوكاوا . الا ان ميزونات — μ لم تظهر اى نشاط اثناء الفعل المتبادل مع النويات وفى كل الاحوال لم تختلف عن الالكترونات بهذا الصدد . ان البحث الجديد ادى الى اكتشاف الميزونات — π (ويسمونها احيانا « بيونات ») ، التى تناسبت بمختلف المزايا مع دور ناقلات الفعل المتبادل النووى : لقد ظهر لميزونات — π ثلاثة انواع : بشحنة موجبة (π^{+}) ، سالبة (π^{-}) واخيرا محايدة (π^{0}) . ان كتل هذه الجسيمات متقاربة (٢٧٣,١ من كتلة الالكترون للجسيمين الاولين و ٢٦٤,١ للاخير للدرجة دفعتهم الى اعتبارها لا ميزونات مختلفة بل ميزون واحد بالذات « فى حالة شحنات مختلفة » .

لقد زادت البحوث اللاحقة عدد الجسيمات المعروفة لدينا ، الناقلة للفعل المتبادل كالميزونات – π بشكل مطرد . ان بعض هذه الجسيمات اثقل من الميزونات – π باربع مرات تقريبا ، والبعض الآخر بست مرات ، او اثقل من ذلك بعدد اكبر من المرات . وكما نفهمه الآن ، انه وفقا لذلك سيقل مجال التأثير المتعلق بتبادل هذه الجسيمات . وكذلك فان صورة الافعال المتبادلة تتعقد بسبب ان جميع الميزونات تشع بشكل متواصل جدا ونتيجة لذلك يبدو البروتون والنترون محاطين بغيمة مكثفة من هذه الجسيمات (والاصح ان نقول ان هذه الغيوم تعتبر جزءا مكونا لهذه الجسيمات) . ليس غريبا ان الصورة الكمية الكاملة للافعال المتبادلة لاتزال غير موجودة . الا انه قد تمت الاشارة والتنويه الى الكثير من الحقائق الهامة . وينتمي اليها على سبيل المثال والخصوص الاستقلال الشحني للافعال المتبادلة النووية ، اى وحدة سواء بالافعال المتبادلة البروتون – البروتونية والبروتون – النترونية والنترون – نترونية . يمكن النظر الى الاستقلال الشحني بان الجسيمات سواء منها الموجبة ام السالبة ام المحايدة تظهر فى نقل الفعل المتبادل بشكل متناظر .

لقد تحدثنا اعلاه فقط عن التجاذب بين الجسيمات فى النواة ، التجاذب الذى يتناقص بشكل سريع اثناء ازدياد المسافة بين هذه الجسيمات . ولكن على ما يبدو ان هذا التجاذب اثناء مروره بالنهاية العظمى يجب ان يتناقص اثناء تصغير المسافة ، بعد ذلك يتحول الى تنافر . ان هذا الامر يشرح بشكل كيفى فى النظرية الميزونية لو اخذنا بالحسبان تبادل الميزونيات الشعاعية بنفس الوقت . وقد تم الحصول على نتائج هامة وغير منتظرة تخص جهود الافعال المتبادلة النوكلونية من قبل العالم السوفييتى النظرى

الاستاذ كوليسنيكوف . وعلى اساس المواد التجريبية الكبيرة توصل الى انه بالنسبة للفعل المتبادل بين النوكلونات وما تسمى بجسيمات - 8^{0} (من « الهيبرونات » التى ستتكلم عنها فيما بعد) الشبيهة بشكل كبير بالنوكلونات ، يتحول التجاذب الى تنافر بتناقص المسافة ، ثم يبدأ التجاذب من جديد وبعد ذلك على مسافات صغيرة جدا - يكون التنافر قويا جدا . ان التحليل للفعل المتبادل النوكلونى لم ينجز بعد على الرغم من انه اصبح واضحا الآن ان المهم هنا هو التبادل المتعدد الميزونات .

ملاحظة حزينة - « كم هو سهل تجاوز مجموعة من صعوبات فيزياء النواة لو اننا اعرنا الانتباه الى الفكرة المتعلقة بالطبيعة الميزونية للفعل المتبادل النووى » - هكذا يمكن ان يفكر القارىء - « وان التأثير قصير الامد ، واستقلال الشحنة ، والتوازن ، والكثير غير ذلك - تجد تفسيرا جليا وواضحا » . نعم - واضح . ولهذا السبب ذاته اتينا بالصورة الميزونية للافعال المتبادلة البين - نوكلونية . وما يخص الشرح ... ان نشرح - كميا - هذا يعنى ان نبنى نظرية ، ولكن تحول « الصورة » لم يحدث فى النظرية . هذا طبعا لا يعنى اننا لا نستطيع ان نصف النويات ان الكلام يدور بشكل محدد فقط عن النظرية الميزونية للافعال المتبادلة النووية : يمكن حل الكثير دون ادخال اى « نموذج » . ووجود نويات مستقرة على سبيل المثال يفسر بأن تحللها محظور من وجهة نظر الطاقة . ان المعلومات حول الفعل المتبادل النوكلونى والحاصلة بواسطة التجربة عن انتشار هذه الجسيمات ، تستعمل بشكل واسع . اننا نعرف اكثر فاكثر شكل النويات ، والعمليات التى تجرى فيها ، وطرق الوصف النظرى لهذه العمليات . غير ان هذه الطرق

تقل عن « صورتنا » وضوحا الى حد بعيد ، مما يضطرنا ان نعود اليها مرة اخرى وفاهمين عدالة اللوم الذى سينهال به علينا العلماء المتضلعون .

الشحنة البريونية — يجب الا نغفل اثناء دراسة العمليات داخل النواة قانونا هاما جدا فى الطبيعة : ان البروتونات والنترونات وكل الجسيمات الاثقل منها (المجموعة تسمى البريونات) لا تظهر على حدة ، ولا تفنى ، ولا تتحول الى ميزونات او الى جسيمات اخف منها . يمكن ان تولد وتفنى فقط ازواج البريونات ومضادات البريونات . ويمكن التحدث عن ذلك بشكل مختصر : ان فرق عدد البريونات ومضادات البريونات فى اية مجموعة يبقى ثابتا .

ومن الملائم ان ندخل عددا خاصا من الكمات — الشحنة البريونية . فمن اجل البريون تأخذ القيمة +١ ، ومن اجل مضاد البريون —١ . ان قانون حفظ المجموع الجبرى لهذه الشحنات يعتبر احدى الحالات الاساسية للنظرية : ان الفرق بين عدد البريونات ومضادات البريونات يبقى ثابتا مهما ظهرت او اختفت اية جسيمات اثناء عملية الفعل المتبادل .

٣ — تحول النويات الذرية

التحلل — β — ان النترون ليس مستقرا . ولكن بأى شكل يدخل فى تركيب النويات المستقرة ؟

ان كل ما فى الامر هو ان النترون الحر يعتبر غير مستقر .

وبما انه اثقل من البروتون (من المعلوم ان الكتلة تتناسب طرديا مع الطاقة — ونذكركم بالعلاقة الشهيرة لاينشتين $E=mc^2$) ، فمن الافضل له ، من وجهة نظر الطاقة ، ان يتحول الى بروتون . وعندما يوجد النترون والبروتون فى النواة تظهر طاقة الفعل المتبادل ايضا : ان طاقة التجاذب النووى (وهى كاى تجاذب) سالبة . الا ان طاقة التنابذ الكهربائى للبروتونات موجبة . وان تحول النترون فى النواة الى بروتون لا يحرر طاقة ولكن يتطلب بذلها ، ولهذا السبب فان النترونات فى النويات غير الثقيلة على الاقل تبقى ثابتة . وحسب تعبير ك . فورد ، « ان النترون يستمد استقراره من طاقة الاتصال مع البروتون . ان الحديث يدور حول التوازن الدقيق جدا » . ويعقب قائلا : « أعجوبة ان يقع تحت تصرف الطبيعة لا حجر واحد ، بل ٩٠ حجرا مختلفا للبناء » (يقصد المؤلف العدد التقريبى للنويات المستقرة) .

ولكن هل يمكن دائما ان يتوفر استقرار النترونات فى النويات ؟ يبدو ان ذلك ليس دائما . ولكن النترون اثقل من البروتون باكثر من ١/١٠٠٠ من كتلته . لذلك حتى ولو اصبح عدد النترونات كبيرا جدا ، حتى الفعل المتبادل المنقذ لا يستطيع ان يمنع النترونات من التحلل ... فمن الافضل للنترون « الفائض » لاسباب تتعلق بالطاقة ان يتحول الى بروتون (بعد ان يصبح تناسب الجسيمات فى النواة اكثر استقرارا) . واثناء ذلك يولد ويطير من النواة الكترون وجسيمات اخرى ، سنتحدث عنها فى الفصل القادم بالتفصيل — ذلك هو مضمون التحلل — β .

والحالة المعاكسة محتملة : ان النواة تحتوى على عدد « فائض » من البروتونات . وبما ان الفرق بين كتل البروتونات والنترونات لا

يلعب الدور الاساسي بسبب الفعل المتبادل فى النواة لذلك تكتسب هذه الجسيمات هنا حقوقا كبيرة متساوية . وتظهر هذه الحقوق المتساوية خاصة عند البروتون فهو فى ظروف مناسبة يستطيع ان يصبح غير مستقر ويتحلل مشابها بذلك النترون .

طبعا يوجد فرق : يشع النترون اثناء تحلله جسيما كاملا — الكترونا . ولكن البروتون يشع جسيما موجبا — بوزترونا . وخلال التحلل — β البوزتروني يتحول بروتون واحد « زائد » الى نترون . مما يضمن ارجاع الوضع المستقر للجسيمات فى النواة .

التحلل — α — لننظر الآن الى التحلل — α . لقد تم ملاحظة هذه الظاهرة (مثل التحلل — β) فى نهاية القرن الماضى على يد العالم بيكيريل . وسرعان ما غدت هذه الظاهرة قيد الدراسة التجريبية الهامة . يجب الاشارة فى الدرجة الاولى هنا الى اعمال ماريا وبيير كورى والى اعمال رزرفورد ايضا ومجموعة كاملة من اعمال العلماء الآخرين . يتطاير من النواة اثناء التحلل — α جسيم ناقل لشحنة موجبة ، مساويا لاثنين (فى وحدة القياس الالكترونية) وكتلته اكبر باربع مرات تقريبا من كتلة البروتون . والجسيم — α عبارة عن نواة الهليوم بجميع العلائم والمزايا ، اى زوج من البروتونات وآخر من النترونات ، ملحومة ببعضها بشكل متين .

لماذا يحدث التحلل — α ؟ لماذا تتميز به النويات الثقيلة فقط ؟ لماذا تتحلل بعض النويات بشكل سريع جدا ، فى الوقت الذى تعيش فيه النويات الاخرى مليارات السنين قبل ان تشع جسيم — α ؟ تلك هى الاسئلة الاولى التى سنضطر ان نركز اهتمامنا عليها .

سنشير قبل كل شيء الى الفرق الواضح بين التحلل — β

والتحلل ـ α. فاذا تتطاير من النواة فى التحلل الاول الجسيمات، التى لم يكن لها وجود قبل ذلك، وهذا يعنى ان عليها ان تظهر وتولد فى نفس العملية ، فبالنسبة للاشعاع ـ α فمن الواضح ان النواة تشع جزءا ما مكونا له .

هل يوجد جسيم ـ α فى شكل جاهز كوحدة متماسكة فى داخل النواة ، او هل يوجد بروتونان ونترونان يلتصقان ببعضهما قبل الاشعاع ؟ ان الفكرة الثانية هى الشائعة (على الرغم من وجود الراى المعاكس) ، ولكن لاشك بان الجسيم ـ α هو نظام ثابت ومستقر ومتماسك بشكل قوى جدا ، وهو يظهر داخل النواة (قبل او بعد الاشعاع مباشرة) .

ما هى اذن تلك القوى التى تدفع الجسيم ـ α ؟ ان الجسيم ـ α يحمل شحنة كهربائية من نفس الاشارة التى تحملها كل النواة ولذلك يجب ان يوجد بين النواة والجسيم ـ α تنافر . ولكن التجاذب النووى الفائق يغطى على ذلك التنافر . ولولا وجود ذلك التجاذب ، لتوجب على النواة ان تنقسم الى اجزائها المكونة .

قفز من فوق الجدار ـ ولكن اذا كانت قوى التجاذب اكبر من قوى التنافر فبأى شكل سيحدث الانحلال ؟ وهنا مرة اخرى نقف امام اثر كمى خاص . هل تستطيع حبة البطاطا الواقعة فى الطنجرة ان تقفز منها وفق ارادتها ؟ طبعا كلا ـ لانه لا تتوفر لحبة البطاطا الطاقة الكافية كى ترتفع الى حافة الطنجرة. ان قلم الرصاص لا يستطيع ان يفلت من اليد بتحريك الاصابع ـ تمنعه من ذلك القوة التى تحمله . الا ان قلم الرصاص وحبة البطاطا من وجهة النظر الكلاسيكية كبيران . ونكرر الاصطلاح الذى اصبح لدينا معروفا : اشياء ذات احجام كبيرة تتكون من عدد ضخم من

الجسيمات . ولكن ليس فى الجسيم — α اكثر من بروتونين ونترونين . وهذا يعنى ان الثنائية الجسيمية — الموجبة وعلاقة اللامحققية الناتجة عن ذلك يجب ان تنعكس بشكل كبير . ان الجسيم — α يقع فى وعاء ايضا . ان النواة هى بمثابة هذا الوعاء . اذن يجب ان توجد لامحققية فى النبض وتبعثر الطاقة . واذا حركنا الوعاء الذى يحوى البطاطا باستمرار ، من المحتمل انه فى لحظة معينة ستتزايد الطاقة الحركية للحبة للدرجة تصبح القفزة معها ممكنة من فوق الجدار . طبعا اننا لا نستطيع ان نطبق ذلك على النواة بالشكل الحرفى ، ان النواة ليست محاطة بأى جدار ولا بأى شكل . وتظهر هنا امكانية الافلات على حساب تبعثر الطاقة من أسر التجاذبات النووية والطيران بعيدا عن النواة . وفور حدوث ذلك « وتجاوز الجسيم — α عتبة النواة » تقل قوى التجاذب — لانها قصيرة التأثير . وتصبح قوى التنافر الكهربائية هى المهيمنة ، فتبدأ بالتناقص بشكل بطيء . انها تقذف الجسيمات — α عن النواة وتظل تدفعها حتى طاقات كبيرة . ذلك هو سبب تطاير الجسيمات — α بهذه السرعات الهائلة .

ماذا أهملنا ؟ — يوجد فى نقاشنا مكان معتم . لماذا يطير جسيم — α من النواة ولا يطير مثلا الكترون واحد* ؟ غير ان جميع هذه النقاشات بالنسبة لعلاقة اللامحققية النبض وتبعثر الطاقة صالحة لهذه الحالة . من الواضح اننا اغفلنا فى نقاشاتنا شيئا ما ذا اهمية كبيرة . لنحاول ان نجده .

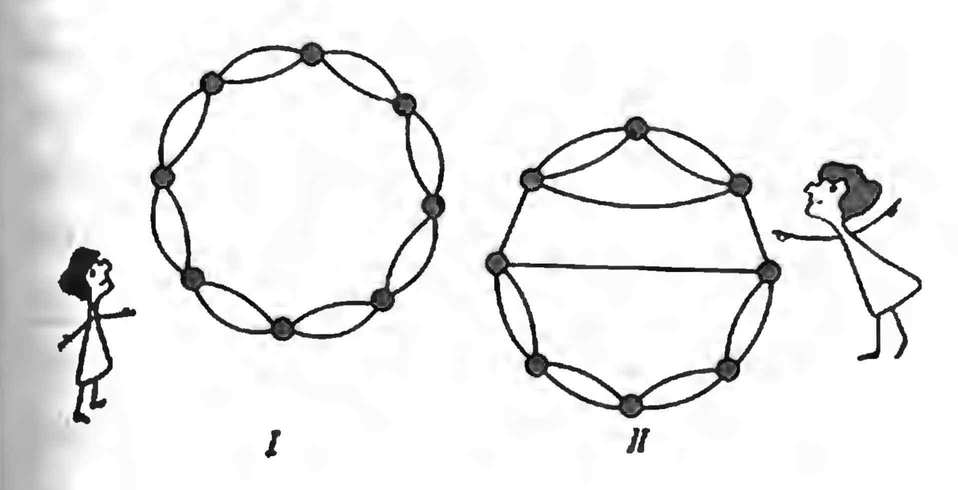
---

* منذ زمن ليس ببعيد لاحظ الفيزيائيون السوفييت التحلل البروتونى للنويات الا ان هذه الظاهرة نادرة الحدوث .

ان تبعثر الطاقة بالنسبة لجسيم واحد ، فى هذه الحالة او تلك متساوى . أهى قوى التنافر ؟ بما انه يوجد فى جسيمات — α نترونان ، اى ان نصف المجموعة دون شحنة فالتنافر فى التعبير « البروتونى الخالص » اكبر بمرتين . واذا كانت تتطاير على كل حال لا البروتونات بل نويات الهليوم فالسبب كما هو واضح يمكن ان يكون فقط : ان الروابط المساعدة على بقاء جسيم واحد — البروتون — فى النواة ، تكون اكبر من تلك الروابط التى تبقى الجسيم — α .

اشباع القوى النووية — لنرجع الى نموذج بسيط يساعدنا على شرح القضية . لنتصور مجموعة من الكريات التى ينطلق من كل منها اربعة خيوط : سنربط جميع الخيوط بعضها ببعض . ها هى احدى طرق وصل الكريات (I) . انها طريقة الوصل المتساوى : كل الكريات تقع فى ظروف متساوية . ان انتزاع اية زمرة من الكريات من الحلقات التى حصلنا عليها ليس أسهل من انتزاع كرية واحدة (اى يجب ان نقطع خيوطا اقل) .

وها هى طريقة اخرى لوصلها (II) . فالصورة الآن قد تغيرت بشكل ملموس : لكى ننتزع كرية واحدة (اى جسيما واحدا)



كالسابق يجب ان نقطع اربعة خيوط . وفي الوقت نفسه ظهرت زمرة مرتبطة مع المجموعة الباقية بخيطين فقط .

ان خاصة الروابط الداخلية هي التي تضعف الاتحادات الخارجية للزمرة مع باقي كريات المجموعة .

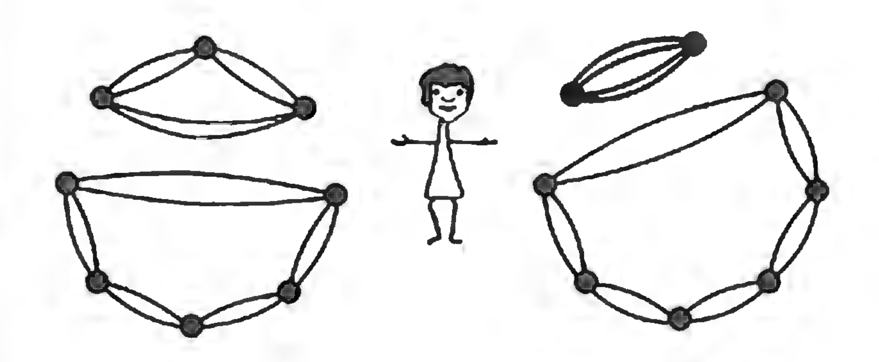
ويمكن اخيرا ان نرسم شكلين آخرين ايضا ان يعكسا هذا الوضع بشكل واضح : ان تقوية الصلات الداخلية تقود هنا الى الانقسام الكامل للزمرة . كل الخيوط ادت الى الروابط الداخلية ، ولذلك لم يبق « للصلات الخارجية » اى شيء . وواضحة للعيان الحالة التي تنص على انه : كلما كانت الصلات الداخلية لزمرة معينة من الكريات اقوى كلما كانت الخيوط التي تصلها مع الخيوط الاخرى اقل واسهل ، لذلك يكون انتزاع هذه الزمرة من المجموعة اسهل .

طبعا لن يحدث اى شيء مشابه لو اننا ربطنا بالكرية عدد غير محدد من الخيوط . لقد اصبح واضحا ان كل كرية يمكن ان تربط بعدد محدد من الخيوط المجاورة .

ان هذه الحالة الاخيرة هامة للغاية ويجدر بنا ان نؤكدها . لو لم يحدث شيء مشابه في النويات لوقعنا على خاصية بالغة الاهمية للقوى النووية .

ولكن ربما كنا نبحث عن مشابهات في المكان الذى ليس لها وجود فية ؟ الا ان الوقائع الكثيرة تدل على ان هذه المشابهات موجودة ، وستكون اقرب من غيرها تماما .

قبل كل شيء ان جسيم — α هو جسيم ملتحم بشكل متين دون شك . وليس عبثا ان هذا الجسيم يستخدم اكثر الاحيان لقصف النويات الاخرى ، مثل قذيفة متراصة . الا تعتبر هذه



الكتلة المتراصة سببا للتجاذب الضعيف من جهة الجسيمات النووية الاخرى .

الا يمكن كما هو فى نموذج الكريات ان نتصور ان كل بروتون او نترون يمكن ان يقوم بفعل متبادل مع كمية غير كبيرة من الجسيمات المحيطة به بنشاط ؟ هل يوجد اساس لذلك ؟ اننا توصلنا الى ذلك مباشرة من قبل ، عندما تحدثنا عن التحلل — β . تذكروا اننا قلنا كيف يجب بدقة ان تتوازن العلاقة بين عدد البروتونات وعدد النترونات فى النواة كى تصبح مستقرة . كل بروتون فى النواة المستقرة يحيطه نترون او اثنان تقريبا (فى النويات الخفيفة — اقل ، وفى الثقيلة اكثر) . ان « لعبة » التجاذبات النووية والتنافرات الكهربائية الساكنة بين النوكلونات — بهذه التسمية العامة تتحد الجسيمات التى تتركب منها النواة — تشترط الى حد كبير توزيع محدد لهذه النوكلونات فى النواة . يتلقى كل واحد من هذه النوكلونات فى هذا التوزيع تأثير النوكلونات القريبة جدا فقط . لماذا القريبة جدا ؟ ببساطة لاننا نشعر بالقوى النووية ، كما نعرف ، على مسافات قريبة جدا فقط . يتحدث الفيزيائيون ، حول ذلك عادة ، عن ظاهرة اشباع القوى النووية .

وحول وجود الاشباع يمكن ان يساعدنا واقع آخر معروف

ايضا ، وهو قانون الثبوتية التقريبية النووية . لقد أقر المجربون بان ابعاد النويات تتزايد متناسبة مع الجذر التكعيبي للعدد العام للجسيمات المحصورة فيها. وبمعنى آخر : ان الحجم (يتناسب طرديا مع نصف القطر) يزداد بشكل طردي مع هذا العدد . وهذا يعني ان الحجم الذى يخص كل جسيم يبقى نفسه لكل النويات .
لنحاول ان نشرح ذلك . تصوروا ان نواتين تتحدان . وسنضطر ان نتكلم بالتفصيل عن هذا الاتحاد . لو حدث فعل متبادل لكل الجسيمات مع بعضها البعض لوجب ان يحدث فى ذلك الالتحام « انكماش » ولبدت الجسيمات مضغوطة امتن من ذى قبل بسبب التجاذب المتزايد . ولكن ذلك الا يحدث – لان الحجم المخصص لكل جسيم لا يتناقص اذ ان غالبية الجسيمات (الجميع ما عدى المجاورة عمليا) لا تشعر بأى تغير للافعال المتبادلة . وهذا يعلل حدوث الاشباع للقوى المؤثرة عليها ، وظهور جسيمات جديدة بالقرب منها لا تضيف اى شيء لهذه القوى .

والآن بعد ان تعرفنا على ظاهرة الاشباع ، وحيث ستتضح قانونية المشابهة مع النموذج المذكور آنفا ، سيفتح امامنا الطريق لفهم اكثر الخاصيات اهمية للتحلل – α .

فمعروف لدينا مثلا أنه يمكن ان تشع اشعة – α النويات الثقيلة نسبيا ، التى تتكون من عدد كبير من الجسيمات . ان كل ما فى الامر ببساطة هو ان الاشباع لا يظهر بشكل كامل فى حالة وجود العدد الصغير للجسيمات بعد .

والآن ليس صعبا ان نجيب على السؤال الذى بدأنا منه : لماذا تتطاير من النويات اكثر الاحيان مجموعة من اربعة جسيمات – من بروتونين ونترونين ، وليست جسيمات منفصلة كل على حدة ؟

اننا اقتنعنا الآن بان روابط البروتونات والنترونات فى الجسيم - α مع كل ما يحيط بها تقل بسبب اتحادها . وهذا يمكن ان يحدث وفقا لمبدأ اللامحققية وتبعثر الطاقة ، ويبدو ان ذلك كافيا كى يجرى التحلل - α .

وها نحن قد امعنا النظر بنوعين لعدم الاستقرار النووى ؛ بقى علينا ان نضيف قليلا من الحديث عن النوع الثالث . الا وهو انقسام النويات .

انقسام النويات - كما هو واضح من التسمية نفسها ان الانقسام - ليس اشعاع النواة لزمرة صغيرة من الجسيمات كما فى الحالات السابقة ، وانما « تحطم » النواة الى اقسام متساوية تقريبا . يمكن ان تنقسم النويات الثقيلة فقط التى يدخل فيها اكثر من ٢٥٠ جسيما . اننا نعرف الآن ان القوى النووية يمكن ان تظهر على مسافات صغيرة جدا فقط ، نعرف كذلك عن الاشباع ، وليس من الصعب ان نتصور ماذا سيحدث فى النويات التى توجد فيها تلك الكميه الهائلة من الجسيمات . وبذلك يجب ان تعيش الاقسام المختلفة للنواة بشكل مستقل تقريبا تماما . ان الجسيمات المترتبة على الاطراف المعاكسة لبعضها البعض غير مرتبطة عمليا . ويكفى ان « نهز » هذه النواة قليلا لتتحطم الى نصفين . ان اقل هزة ، بل حتى تأثير الوزن الخاص يؤدى الى تفتت قطعة الطين ، وكذلك تنقسم الى نصفين قطرة الزئبق حتى من هزة خفيفة . (لاحظوا ان القطرات الصغيرة ؛ قطعة صغيرة من القرميد اكثر متانة بكثير) ويبدو هذا على كل حال سهلا وواضحا من الناحية الكيفية . ولاستطعنا بذلك ان ننهى الحديث عن الانقسام لو لم تكن ثمة حالة هامة جدا . لو اننا نظرنا الى جدول

النويات (ويمكن ان يكون هذا الجدول ، جدول مندلييف) للاحظنا فورا ان كتلة النويات تتصاعد من عنصر الى آخر اسرع من الشحنة . وبكلمة اخرى ، ان كمية البروتونات فى النويات تتزايد بشكل ابطأ من تزايد عدد النترونات .

وليس من الصعب ان نفهم سبب ذلك . اذ ينعدم الاشباع القوى الكهربائية المتنافرة . وكل بروتون يتفاعل بشكل متبادل مع كل البروتونات الباقية مهما كانت كميتها (وهنا تظهر القوى الكولونية التى تؤثر على مسافات كبيرة) . ومع زيادة عدد البروتونات تصبح قوى التنافر اكثر فاكثر . ويمكنها ان تتوازن على حساب ظهور كمية اكبر فاكبر من النترونات فقط فى النواة التى لا تشعر بالتنافر الكهربائى اثناء ذلك ، وفى نفس الوقت تدخل حصتها فى التجاذب النووى . ولكى يستطيع هذا التجاذب ان يزداد بشكل اسرع من التنافر الكهربائى يجب ان تصبح طبقة النترونات اكثر فاكثر من نواة الى اخرى . ان كل بروتون (اشباع القوى النووية !) ينجذب ليس من قبل جميع الجسيمات ولكن من قبل تلك القريبة منه جدا . وطبعا يجب ان يتصاعد الوزن النوعى للنترونات بشكل مستمر مع زيادة عدد الجسيمات فى النواة .

تصوروا الآن انه قد تم حدوث انقسام نواة ثقيلة ما . نواة نظير اليورانيوم ٢٣٩ المحتوية على ٩٢ بروتونا و ١٤٧ نترونا مثلا . ولتبسيط الامر سنعتبر ان هذه النواة انقسمت الى نصفين تقريبا فلذلك يجب ان يكون فى كل قسم ٤٦ بروتونا و ٧٣ — ٧٤ نترونا . ان كمية البروتونات ، وهذا يعنى شحنة النواة (بوحدة القياس الالكترونية) تتطابق مع رقم العنصر فى جدول مندلييف الدورى للعناصر . وهذا يعنى ان الشظايا او الفلق تعتبر نويات البلاديوم .

ولكن اكثر نظائر البلاديوم استقرارا يحوى فى نواته ٦١ نترونا . اذن اين تختفى الـ ١٢ — ١٣ نترونا الزائدة التى تخص كل من الشظايا المنقسمة ؟ طبيعى تستطيع ان تتحول الى بروتونات على حساب انحلال — β ولكن بما ان الانقسام يحدث بشكل سريع جدا فانه يكون اكثر بساطة (بسيط خارجيا طبعا) . ينقذف جزء من النترونات الفائضة وتصبح حرة . ان تحرير النترونات يسمح بوجود ما يسمى ، كما هو معروف بالتفاعل المتسلسل . وبالفعل لو جمعنا كمية من النويات المنقسمة . فعاجلا ام آجلا ستتحلل احداها الى شظايا تحت تأثير اية وقائع خارجية ، واحيانا من تلقاء نفسها . والنترونات المتطايرة تطير اثناء ذلك دون اية عقبة الى النويات المجاورة (انها لا تتقبل التنافر الكهربائى) . ويسبب هزها البسيط ، ولكن الكافى ، على كل حال ، كى تنقسم هى بدورها . وان الانقسامات الجديدة تسبب تيارا من النترونات الجديدة وتتزايد عملية الانقسام الكبيرة بشكل سريع جدا ، مثلما تلتهم النار العشب ، شاملة كل النويات المنقسمة * .

وبما ان الشظايا تكتسب طاقات ضخمة فى كل انقسام — ان التنافر الكهربائى يدفعها بقوة هائلة عن بعضها البعض — تتحرر كمية كبيرة من الطاقة فى الجسم المنقسم ، وتتحرر بالاضافة الى ذلك كمية من الحرارة التى يمكن استعمالها . ويتم نقل الطاقة المتحررة بواسطة الاشعاعات المغنطيسية الكهربائية وغيرها . ان ملايين الناس تبذل قصارى جهدها على الكرة الارضية فى سبيل

---

* لاشك اننا بسطنا تفاعل الانقسام . وفى الواقع لا تخطف جميع النترونات من قبل النويات المنقسمة ، والنترونات المخطوفة لا تسبب الانقسام دائما .

استعمال ذلك من اجل خير وسعادة البشرية جمعاء . وعلى فكرة . ان الاستعمال التكنيكى للانقسام النووى قريب من استعمال العجلات . غير انه لا يمكن التظر الى ذلك او تلك فى الطبيعة . اننا سننحرف كثيرا عن المسألة الرئيسية اذا ما تحدثنا بشكل مفصل مثلا عن الاجهزة الصناعية ، التى تستعمل فيها الطاقة المتحررة اثناء انقسام النويات ، عن المفاعلات النووية ، عن الطاقة النووية بشكل عام . ولكن بما اننا قد تحدثنا عن المصادر النووية للطاقة فاننا لانستطيع الا نتحدث عما يسمى بالتفاعلات الحرارية النووية .

عندما تتحد النويات — منذ تعلم الانسان استعمال النار كان ولا يزال يستعمل الطاقة المتحررة اثناء التفاعلات الاتحادية . ولكن ذلك « التمازج » الكيميائى — هو اتحاد ذرات الاكسجين مع ذرات وجزيئات الوقود . فلماذا تتحرر الطاقة هنا ؟

لماذا يحترق مزيج الهيدروجين والاكسجين (واحيانا ينفجر) بهذا اللهب الحار ؟

نعم لان طاقة ذرات الاكسجين والهيدروجين المأخوذة على حدة ، أكبر من طاقة جزيئات الماء التى تتشكل بنتيجة تفاعلها . ان هذا الفرق فى الطاقة يتحرر وينطلق اثناء الاحتراق .

من السهل الاقتناع « بالاحتراق النووى » المشابه ولذلك يجب ان نحلل ، فى اى الظروف يمكن حدوث اتحاد النويات .

ان الحصول على اتحاد النترونات يبدو لاول نظرة سهلا جدا ، غير انه تؤثر بينها قوى التجاذب فقط ولكن من الصعب حفظ النترونات . انها تخرق اى جدران (او يتم امتصاصها فيها) . وبالاضافة الى ذلك يجب الا ننسى عدم استقرارها . وربما لا يستحق ان نبحث مسألة اتحاد بروتونين . ويلعب التنافر الكهربائى

دورا كبيرا للغاية. وها هي نويات الديتريوم (الهيدروجين الثقيل) — ديتونات تقع في وضع مختلف للغاية . انها مستقرة . انها مجموعة مستقرة من الكترون واحد وبروتون واحد . ولكن يجب ان تصبح نواة الهليوم نتيجة انضمام ديتومين اكثر استقرارا . وليس عبثا تتطاير الجسيمات — α لا الديتونات ، اثناء التحلل الاشعاعي النشيط .

ان القارىء يستطيع بسهولة ان يجرى التقييمات الضرورية ، اذا ما توفرت له فقط جداول كافية مضبوطة لكتل مختلفة النويات . اننا نجد في هذه الجداول كتلة الديتون m_D = ٢,٠١٤١ (في وحدات القياس الذرية) . وعند الاتحاد يجب ان يتشكل الهليوم . ويجب مقارنة كتلة نواة الهليوم m_{He} = ٤,٠٠٢٦ بكتلة ديتونين . بما ان كتلة الهليوم m_{He} أقل من كتلة الديتونين m_D ، لذلك فان هذه العملية التي تهمنا تعتبر مفيدة لاسباب تتعلق بالطاقة ، اى عند اصطدام ديتونين فانهما يمتزجان . واثناء ذلك يجب ان تتحرر طاقة (وليست قليلة) ، كما في اى اتحاد كيميائي .

وماذا عن التنافر الكهربائي ؟ — يسأل القارىء . لاشك انه موجود . ومن الصعب جدا ان نقرب ديتونين الى بعضهما بسبب هذا التنافر . ولكن اذا تمكننا تجاوز القوى الكهربائية (اذ تبدأ بالظهور على مسافات كبيرة) وجعلنا الديتونات تتقارب لدرجة يدخل معها التجاذب النووى قصير الامد في اللعبة وبذلك يتم القضاء على التنافر .

اذن المهم تقريب الديتونات — واذا ما استطعنا ذلك فالعمل المبذول سيعود بالفائدة العظمى . ولكن كيف نفعل ذلك ، كيف نقرب الديتونات ؟

ان احدى الوسائل — هي تسخين الهيدروجين الثقيل حتى

عشرات الملايين من الدرجات . ان طاقة الحركة الحرارية عند هذه الدرجات العالية تصبح كافية لتجاوز مجال تأثير القوى الكهربائية . ان النويات اثناء التصادم تتقارب لدرجة ان الافعال المتبادلة الميزونية تلحمها . ويحدث التفاعل الحرارى النووى – اتحاد بسبب درجات الحرارة فوق العالية . وكما ذكرنا تتحرر اثناء ذلك طاقات هائلة تصبح درجات الحرارة اكبر بسببها . وتصبح عملية الاحتراق النووى داعمة لنفسها مالم ينفذ الوقود .

ان العمليات النووية الحرارية في الطبيعة لا تعتبر نادرة بشكل مطلق . فان اتقاد كل النجوم ، وعلى وجه الخصوص الشمس ، كل ذلك يعود لسبب الاتحاد النووى الحرارى . وحقيقة ان الصورة هنا اعقد نوعا ما . انها لا تقود ببساطة الى تشكل الهليوم من الديتونات . وتشارك في التفاعل سلسلة كاملة من النويات . ولكن الناحية الاساسية لا تتغير بسبب ذلك .

بقي علينا ان نضيف الى ما ذكرناه بعض الكلمات . اية نويات يمكن ان تتحد ؟ طبعا النويات الخفيفة بشكل اساسى : فكلما كانت البروتونات اكثر فى النواة ، كلما كان من الاصعب تجاوز التنافر الكهربائى . ولكن توجد حالة اكثر اهمية . تبدأ بالتأثير ظاهرة اشباع القوى النووية عند النويات الثقيلة جدا . وعند ذلك يصبح الاتحاد مستحيلا . وعلى فكرة ، ان دور اشباع القوى النووية يذكرنا هنا بدور القوى الكيميائية اثناء تشكل الجزيئات التى تكلمنا عنها . فاختيار الوقود لا يسبب اذن اهتزازات كبيرة .

اننا لحد الآن لانستطيع ان نحقق التفاعل النووى – الحرارى الموجه . وتكرس كبرى المؤسسات العلمية جهودها لهذه القضية . ان الاخذ بزمام التفاعل النووى الحرارى – هذا يعنى عمليا حل

مشكلة معاصرة الى الابد . الا وهى مشكلة مصادر الطاقة التى تعانى منها البشرية فى الوقت المعاصر .

ماذا عرفنا ؟ — والآن نعتقد انه يمكن انهاء الحديث حول القوى النووية . اننا قد اوضحنا عدة اشياء هامة وممتعة . قبل كل شيء لا يجوز التكلم عن القوى فى النواة بالمعنى الحرفى . لان القوة مفهوم كلاسيكى انها ليست مقدار كمي ، يساوى حاصل ضرب الكتلة بالتسارع .

ان الثنائية الجسيمية الموجية تؤدى الى استحالة امكانية تحديد الاحداثيات والسرعة ، وتحديد التسارع ايضا . وهكذا لا يمكننا بتاتا التحدث عن وجود اية قوى كانت بالمعنى الميكانيكى ، فى عالم الجسيمات الدقيقة او عالم الدقائق . وهنا توجد مقاييس اخرى للفعل المتبادل . وأبسط هذه المقاييس هى الطاقة المتوسطة للاتحاد او الترابط . ولنتذكر علاقة اللامحققية للطاقة والزمن . ان النويات المستقرة تعيش عمليا لمدة طويلة دونما تحديد . اى تكون اللامحققية الزمنية بالنسبة اليها ، كبيرة الى حد لانهائى . ولكن عندئذ يجب ان تكون لامحققية الطاقة (ولنلاحظ ان ذلك بالنسبة للنواة برمتها وليس بالنسبة للجسيمات التى تتألف منها) صغيرة الى حد نهائى . ان هذه اللامحققيات تتناسب عكسيا مع بعضها البعض . ان عدم وجود تشتت او تبعثر فى الطاقة ، هو الذى يساعد على حفظ الطاقة بالنسبة الى الجسم الكمى الخالص ، الذى هو النواة فى هذه الحالة ، بمثابة خاصية او صفة للفعل المتبادل .

لقد بيّنا ان الفعل المتبادل (التفاعل) ينشأ نتيجة لتبادل الجسيمات الوسطية . وعند تقديرنا لكتلة هذه الجسيمات ، توصلنا الى الصورة الميزونية للفعل المتبادل .

وليس كل شيء مفهوم بعد في هذه الصورة ، مع العلم بان بعض التفاصيل النوعية للفعل المتبادل النووي اخذت تتضح الآن. وهي توضح بطبيعة الحال ما يسمى بعلاقة الشحنة (اى علاقة القوى النووية المؤثرة في الجسيم ، بوجود شحنة كهربائية في ذلك الجسيم ام عدم وجودها) : ان الامر يتلخص هنا ببساطة ، في ان الجسيمات الحاملة او الناقلة للفعل المتبادل ، قد تحتوى على شحنات موجبة او سالبة ايضا (وقد تكون الشحنات غير موجودة فيها بتاتا ، اى تكون غير مشحونة بالمرة) . واستطعنا ان نسير أبعد من ذلك ايضا : ان نشرح خواص تحلل β – و α – ، وأن ندرك تفاعلات الانقسام واتحاد النويات . وان امكانياتنا لم تنفد بعد .

ويمكن ان نشير فورا باعتمادنا على النتائج التي حصلنا عليها مثلا ، الى ان الميزونات π – لا تعتبر متراصة كناقل للافعال المتبادلة على الرغم من انها تلعب دورا حساما) . ويمكن لاية كمات قادرة ان تشع او تمتص من قبل الجسيمات النووية ان تنقل الفعل المتبادل . وكلما كانت هذه الكمات أثقل كلما كان نصف قطر القوى المناظرة اقل . ويمكن الاشارة على سبيل المثال الى ما يسمى بميزونات K – التي اكتشفت منذ زمن ليس ببعيد . فكتلة هذه الجسيمات اكبر من كتلة الالكترون بـ ٩٧٠ مرة (فهي أكبر بثلاث مرات من كتلة ميزون π –) وهذا يعني ان الافعال المتبادلة التي تنقلها هذه الجسيمات يجب ان تؤثر على مسافات اصغر بثلاث مرات من ميزون π – * .

* ان دور الفعل المتبادل لميزون K – ، هو دور ملموس على وجه الخصوص فيما يسمى بالنويات – الهيبرونات (لقد تحدثنا عنها باختصار فيما مضى) اى النويات التي تدخل في تركيبها بالاضافة الى البروتونات والنيوترونات . الهيبرونات –

وهنك مشكلة اخرى هامة للغاية ، لا يمكن الا ان نشير اليها عند دراسة مسألة القوى النووية . وها نحن قد قلنا : ان البروتون يشع الميزون – π الممتص من قبل النترون المجاور ولماذا النترون المجاور فقط بالذات ؟ ان البروتون نفسه اثناء ذلك يتحول الى نترون لا يقل اهمية عن كل الجسيمات المحيطة – هذا يعنى انه نفسه يستطيع ان يحتل ميزونا خاصا . والعملية المماثلة ممكنة عند النترونات ايضا * . وبنتيجة ذلك يجب ان يظهر فعل متبادل – ليس مع الجسيمات الاخرى ولكن مع نفسه ايضا مشابها بذلك التأثير المغنطيسى – الكهربائى الذاتى .

ومن المهم خاصة ان النترون والبروتون يجب ان ينظر اليهما وفقا لهذه الصورة كمجموعة معقدة جدا : فى المركز « لاشىء » ، وحولها – غيمة من الميزونات المشعة والممتصة من جديد (لاحظوا بالمناسبة ، انه يجب ان ننظر الى الافعال المتبادلة لمختلف الجسيمات كازاحات جزئية لهذه الغيوم) . ان الميزونات مشحونة – هذا يعنى ان نطرح سؤالا عن توزع الشحنة الكهربائية فى هذه الغيمة . ولكن ذلك يعتبر خطوة لشرح بنية الجسيمات الاولية ! وظلت كلمة « اولية » حتى الامس تبدو للكثيرين كمرادف « بدون بنية » . وان كلمة بنية الجسيمات ليست من اوهام النظريين فقط بل انها كانت ملموسة فى تجارب خوفشتادر الرائعة ، والتى ذكرناها فى هذا الكتاب . الا يعتبر ذلك اثباتا فذا لصحة النظرية ؟

وهى عبارة عن جسيمات فوق ثقيلة تبلغ كتلتها حوالى ٢٢٠٠، ٢٣٠٠، ٢٦٠٠ ضعفا من اضعاف كتلة الالكترونات .

* يتضح مما قيل على وجه الخصوص ، انه لا توجد حدود واضحة بشدة بين البروتون والنيوترون . ويمكن اعتبارهما على الارجح ، كحالات مختلفة لنفس الجسيم الواحد بالذات (وكما يعبر عن ذلك الفيزيائيون بقولهم : حالات الشحنة) .

أشياء مجهولة – ما هى الكلمات التى يمكن بها ان نصف الأشياء المجهولة ، التى بدأنا بها هذا الكتاب ؟ يبدو ان النجاحات النظرية عظيمة وغير قابلة النقاش . اننا لم نشرح الافعال المتبادلة النووية وحسب ، بل واستطعنا ايضا ان « نتطلع » الى داخل الجسيمات ! نعم اننا تمكنا من ذلك – ولم تتوفر لنا امكانية التذكير حول الكثير منها – ولكن فى حدود الوصف النوعى فقط . للاسف الوصف النوعى وليس الكمى .

وحالما يحاول الفيزيائيون ان ينقلوا كل النقاشات التى وردت الى لغة المعادلات والصيغ الصرفة ، سرعان ما تظهر غابة من الصعوبات التى لم يتغلب على الكثير منها بعد . وتوجد بعض الفقرات التى لا تستطيع ان تفتخر النظرية بها حتى بالوصف النوعى .

اننا لا نعرف اشياء كثيرة اخرى بسيطة جدا ، لاول وهلة ؛ ولسنا نعرف بشكل جيد اشكال النويات المختلفة ووضع الجسيمات فيها .

وعلى كل حال لقد تم احراز نجاحات كبيرة فى وصف البنية . وهذا يعنى شكل النويات ايضا . ان النويات (النويات الثقيلة) عبارة عن مجموعة من جسيمات تتبادل الفعل مع بعضها البعض وليس سهلا على النظريين دراسة هذه المجموعات . لذا فانهم يضطرون لوضع النظريات التقريبية . وكانت نظرية القطرة (او الهيدروديناميكية) لنيلس بور احدى النظريات الاولى . ان النواة تشبه القطرة الى حد كبير . وان الجزيئات فى السائل مرتبطة ببعضها بواسطة القوى قصيرة الامد ، ان نصف قطر التأثير وقوى تجاذب الجسيمات فى النواة صغير (على الرغم من ان لها طبيعة اخرى تختلف للغاية) . وهذا ليس كل شيء .

ويكون للجزيئة الواحدة فى السائل (مثل النوكلون فى النواة) دوما نفس الحجم تقريبا . وان تشابه الشكل الخارجى للافعال المتبادلة تجعل النظرية الهيدروديناميكية للوصول الى النواة مغرية بل مثمرة . ان نموذج القطرة ملائم عند وصف انقسام النويات ، ويمكن التوصل الى صيغ مفيدة الاهتزازات النويات ــ القطرات ، اى الانتقال الى الحالات المتهيجة . ولكن من الواضح ان الطريقة الهيدروديناميكية تعكس خواص النويات بشكل غير ملائم فى الكثير من الحالات . وان مسألة شكل النويات حسب الطريقة الهيدروديناميكية تحل بمعنى واحد : القطرة غير المتهيجة غير متناظرة كرويا . ولكنه نموذج غير دقيق كثيرا .

ان الخطوة التالية فى النظرية متعلقة بما يسمى بالنموذج الطبقى . وتذكرون ان الالكترونات فى الذرات تترتب على شكل طبقات ، ولكل منها طاقة معينة ، وعزم مغنطيسى وميكانيكى الخ .

ويمكن كما يبدو ادخال تصورات حول الطبقات فى النويات بحدود التقريب المعقول .

ان النواة ، كما ذكرنا ، عبارة عن مجموعة كبيرة من الجسيمات ذات علاقات داخلية معقدة للغاية ومتغيرة فى كل لحظة . ولكن هذه هى المجموعات التى يمكن وصفها بمساعدة المقادير الوسطية . لنفكر الآن ماذا يمكن ان نعتبر التأثير الوسطى على كل جسيم . ان كل جسيم فى سمك النواة يتلقى فى المعدل تأثيرا متساويا من جميع الجهات (يظهر فقط تأثير الجسيمات المجاورة جدا) . ولهذا فان تلك التأثيرات تنعدم بشكل متبادل . وتظهر على الحدود قوى موجهة الى داخل النواة . وبالتالى نجد ان كل جسيم يبدو وكأنه يقع فى فجوة ، ويمكنه ان يتدحرج فى قاع هذه الفجوة

بدون مقاومة ، الا ان جدرانها لا تسمح للجسيم بالخروج : لو اردنا الآن ان نحل مسألة الجسيمات فى « الفجوة الجهدية » مع الاخذ بعين الاعتبار مبدأ باولى لوجدنا بان النوكلونات يجب ان تترتب فى النواة فى عدة طبقات .

ان النموذج الطبقى اغنى من نموذج القطرة . الا انه يجب الا نضع هذين النموذجين على طرفى نقيض ، بل يجب ان ننظر اليهما كنموذجين متممين احدهما للآخر . ان اكثر النويات استقرارا وفق النموذج الطبقى هى النويات المزودة بعدد صحيح من الطبقات . ينتمى اليها مثلا الجسيم — α ، نواة الاكسجين O^{16}_{8} وغيرها . ولكن اليكم نواة O^{17}_{8} مثلا . لقد ظهر فيها نترون « زائد ». انه يستطيع ان يلتصق فى مكان ما فوق الطبقات المملوءة ، ولكن الطبقات لا تبقى ثابتة — اذ انها تقع تحت تأثير جسيم جديد ومتحرك . ونحصل بذلك على صورة معقدة تجتمع فيها صفات وخواص النموذج الطبقى القطرى .

وما يخص الشكل بعد كل ما ذكر يبدو جليا انه معقد جدا بشكل عام . وكما اثبت الاستاذ أ . دافيدوف ، ان شكل النويات يؤثر جذريا على خواصها ويمكن ان يدرس بشكل دقيق للغاية .

ان التنبؤ بامكانية وجود نويات فوق ثقيلة مستقرة نسبيا . يعتبر اهم النتائج الناجمة عن النموذج الطبقى للنواة . ان عدد البروتونات او النترونات فى الطبقات النووية المملوءة بشكل كامل تسمى عادة بالاعداد « السحرية » .

ومن الاعداد « السحرية » فى جدول العناصر لمندلييف ، الاعداد ٢ ، ٨ ، ٢٠ ، ٥٠ ، ٨٢ ، ١٢٦ . وتعتبر النويات المملوءة بالطبقات البروتونية او النترونية متينة وتعتبر نواة الرصاص

مثالا للنويات التى تعتبر « سحرية مرتين » حيث ان عدد البروتونات فيها $Z=82$ وعدد النترونات $N=126$.

ثم اوضحت مجموعة من العلماء نظريا فى نهاية الستينيات ان النواة « السحرية مرتين » التى تأتى بعد الرصاص يجب ان تحوى ١١٤ بروتونا و١٨٤ نترونا . ان الحساب الذى تطلب اجراؤه فى التدقيقات اللاحقة اظهر ان هذه النواة مستقرة نوعا ما بالنسبة للانقسام ، والتحلل ـ β ، α . ان المقدار التقريبى لفترة بقاء هذه النواة يقدر بحوالى ١٠^٥ ـ ١٠^٨ سنة ، اى انها فترة طويلة جدا . ويجب ان تعيش النويات التى تحوى اعدادا متقاربة من البروتونات والنترونات فترة طويلة نوعا ما . وهذا يحدث فى ظرف تكون فيه العناصر ما وراء اليورانيوم ، الاكثر خفة ، والتى نتجت اصطناعيا تعيش لمدة قصيرة جدا وتقل فترة بقائها مع ازدياد شحنة النواة . فمثلا يعيش عنصر مندلييف ($Z=101$) حوالى ١٠٠٠ ثانية ، اما عنصر كورجاتوف ($Z=104$) فيعيش نصف ثانية فقط . ويبدو ان فترة بقاء العنصر رقم ١٠٥ اكبر من فترة بقاء العنصر رقم ١٠٤ . وكل هذه النويات تتحطم بسبب الانقسام بشكل اساسى : فالنويات ما فوق الثقيلة المستقرة نسبيا منفصلة عن النويات الخفيفة المستقرة نوعا ما بمجال عدم الاستقرار وتشكل ما يسمى بـ « جزيرة » الاستقرار بجوار $Z=114$ « جزيرة » اخرى مشكلة من نويات ذات شحنة $Z=126$.

ان على العلماء حل مسألة الحصول على النويات فوق الثقيلة اما بشكل صناعى او البحث عنها فى الطبيعة . يمكن الحصول على نويات ذات $Z=114$ او $Z=126$ عن طريق اصطدام ايونين ثقيلين . ويجب ان يكون لهذين الايونين طاقة كبيرة كافية تنقل

اليهما بواسطة المسرعات . الا ان النواة الجديدة التى تظهر بنتيجة التحام نواتين ستقع فى حالة تهيج . اضافة الى ذلك انها تبدو لاول وهلة مشوهة جدا ولها عزم دورانى كبير . ويصبح توازنها اقل بكثير من النواة غير المهيجة لهذه الاسباب ، ويصبح احتمال تحلل النواة كبيرا . وليس غريبا ان جميع المحاولات المبذولة للحصول على نويات فوق ثقيلة مستقرة بواسطة المسرعات لم توصل الى النجاح حتى الآن .

واجريت محاولات للحصول على نويات من « جزر » الاستقرار فى الخامات الواقعة على سطح الكرة الارضية ، وعلى القمر ، والنيازك . واجريت بحوث فى الاجزاء النووية المركبة للاشعة الفضائية .

وظهر خبر فى اواخر عام ١٩٧٦ فى الجرائد اولا وبعد ذلك فى المجلات العلمية . ويفيد هذا الخبر ان مجموعة من العلماء الامريكيين تمكنت من ملاحظة نويات بشحنات ١١٦ ، ١٢٤ ، ١٢٦ فى البلورات الدقيقة للموناسيت . ان فترات بقاء هذه النويات كبيرة ، لانها رقدت ملايين السنين فى قشرة الكرة الارضية . ولكن للاسف ظهر ان هذا الخبر المثير ، والكثير غيره ، كان كاذبا . ان التحقيق الدقيق لم يثبت وجود عناصر فوق ثقيلة . الا انه تجرى فى الوقت الحاضر البحوث والاعمال بصدد تركيب العناصر فوق الثقيلة . وقد تم حساب اشكال السحابات الالكترونية لهذه العناصر كى يصبح ممكنا التنبؤ بخواصها الكيميائية . وان معرفة الخواص الكيميائية للعناصر تقدم مساعدة كبيرة اثناء اجراء مقارنتها ومطابقتها .

وربما لاحظ القارىء ان جميع النقاشات حول بنية النواة لم تتطرق الى النظرية الميزونية للقوى النووية .

ولا تزال توجد نظرية ديناميكية كاملة ترتكز على التحليل المفصل للصورة الفيزيائية للافعال المتبادلة .

وهنا يمتد مجال الاشياء المجهولة الذى ينقض عليه جيش العلماء بطاقة هائلة .

النجاحات الاولية الهامة اصبحت موجودة . فاننا نعرف ان الصورة الكيفية التى رسمناها – ولتكن تقريبية – تتفق والوجود الواقعى . وستظهر النظريات الكمية . انها تبنى احيانا فى مجرى التطورات الكمية – المجالية التى اصبحت عادية واحيانا تجرى محاولة ايجاد طريقة ما جديدة تعتمد على فرضيات اضافية .

ويجب الا يساورنا الشك بان كل خطوة هامة فى فيزياء القوى النووية ستكون فى الوقت نفسه خطوة نحو الجواب الكامل على السؤال الرئيسى للفيزياء : ما هى بنية او تركيب المادة ؟

الفصل السادس

الافعال المتبادلة الضعيفة

هناك حيث الفكر العصماء
تمد جسرها الكلاب ...
عبر الخليقة والفناء
من الذرة الى الكواكب ...

فيرهارن « الابحاث »



١ – تحلل الجسيمات الاولية والنترينو

غابة الخياليين – هناك عدد غير قليل من الكتب العلمية الخيالية ، التى يعطى مؤلفوها ابطالهم امكانية ايقاف قوى مختلفة . فى مثل هذه الكتب تتمركز « شاشات الجاذبية » التى من خلالها لا يشعر أحد بالجاذبية وبالاشعة ولا بالتفجيرات الكيميائية ولا بالاجهزة التى تزيل الاحتكاك و ... الخ . ولكن يمكننا القول ، ان احدا منا لم يحاول ان يتصور كيف كان سيبدو العالم بدون قوى الفعل المتبادل الضعيفة هذه .

وهنا يتوفر الجو الملائم لانطلاق الخيال . ان قوى الفعل المتبادل الضعيفة لم تسمى هباء بقوى التحلل ايضا .

ان تحلل معظم الجسيمات المستقرة (وقد ذكرنا سابقا عندما ناقشنا التحولات المتبادلة للجسيمات من واحدة الى اخرى) يتعلق بذلك .

وهذا يعنى انه لو كان بالامكان بحركة من عصاة سحرية اخفاء هذه الافعال المتبادلة لتوقف مباشرة كثير من اشكال تحولات الجسيمات التى نعرفها ، ولصارت النيترونات وكثير من الميزونات والهيبرونات مستقرة وقادرة على الوجود لفترة طويلة للغاية .

والى اى من العجائب كان سيقودنا هذا ياترى ! وعلى سبيل المثال ، يحوى الجدول الدورى للعناصر فى يومنا هذا ١٠٦ خانات ، مائة وستة عناصر كيميائية مسجلة من قبل العلماء.



ولماذا لا اكثر ؟ وهل توجد عناصر بأرقام ٢٠٠٠ او ١٠٠٠٠ او ... الخ ؟

لا لا توجد عناصر كهذه واضافة الى ذلك نحن واثقون انها لن تظهر فى خانات جدول مندلييف * . وسبب هذا مفهوم لكل من قرأ بانتباه الفصل السابق من هذا الكتاب . هذا لان رقم العنصر يوافق كمية البروتونات فى النواة . وكلما كانت هذه الكمية اكبر كلما حاولت قوى كولون تمزيق النواة .

ولا تمتلك القدرة على معادلة هذه القوى سوى طبقة نترونية ملحوظة . وهذه لا تضيف شيئا لقوى التنافر وانما تثبت النواة بالقوى الميزونية الجاذبية .

وبدا انه عند خلط البروتونات بكمية كافية من النيترونات يمكن الغاء اللاتوازن الكولونى فى اية نواة . ولكن نتذكر هنا عدم استقرارية النترونات ... ومتى صار عددها كبيرا جدا تبرز امكانية التحلل – β – والتى تصبح اكبر كلما كبرت قيمة النترونات النسبية فى النواة .

وهكذا ، فان النواة ذات $Z \approx 100$ لا تستطيع ان تكون مستقرة . وهذه الواقعة المعروفة جيدا تنقلنا فى حالة خاصة الى ان نحضر العناصر الشكلية جدا لا ان نكتشفها .

وعناصر كهذه – بالشكل المحضر لا يمكن ان توجد لا فى جوف الارض ولا فى الفضاء ولا فى اعماق البحار ولذا فهى قصيرة العمر جدا . ويضطر العلماء لقذف النوى بايونات سريعة ومتابعة سلسلة التحولات النووية المعقدة قبل ان تتمكن الاجهزة الفائقة

* هنا لانتناول بالذكر ، مؤقتا النجوم النترونية العملاقة والتى سيل الحديث عنها ادناه .

الحساسية فى لحظات قصيرة من تسجيل عنصر جديد متشكل بكميات هى غاية فى القلة ، واحيانا بذرات معدودة .

ولكن لو لم يكن تحلل النترونات موجودا وخضعت هذه الجسيمات لمشيئة عصانا السحرية وصارت مستقرة ؟ عندئذ لما كان هناك اى عائق لازدياد عددها ولامتلأ جدول مندلييف بشكل ملحوظ . فى الحقيقة ليس الى ما لانهاية كما يبدو لاول وهلة . لنتذكر تشبع القوى النووية . كانت النويات العملاقة ستصبح غير متينة تماما ولتبعثرت بسهولة الى اجزاء . ولكن يمكن مقاومة التحلل للدرجة معينة باتخاذ اجراءات خاصة ضد ظهور الذبذبات . من الممكن وبعد كل ما قيل ان تتشكل امام القارىء اللوحة التالية : على باب المختبر كتابة : انتبه الافعال المتبادلة الضعيفة معطلة . على الطاولة المخبرية وتحت غطاء غير نافذ للنور (كى لا تكون هناك ذبذبات ضوئية) جسيم غير متبلور بحجم التفاحة يعوم فى الهليوم السائل (مفهوم طبعا انه يجب ان تكون درجة الحرارة اقل ما يمكن لتخفيف الذبذبات الحرارية) . وبالمناسبة ، لا يمكن ان يكون هناك حديث عن العوم : الجسم ثقيل للدرجة لا يتصورها العقل ويزن حوالى المليون طن — ثم انه لن يتهاوى الى اجزاء تحت تأثير وزنه ، على الارجح ، لاهداف سامية للغاية . ولكن يكفى ان يظهر من هذه « التفاحة » شق سماكته جزء من المليارد من الملمتر كى تتمزق الروابط النووية (قصيرة الأمد) وكى تبعثر القوى الكهربائية الساكنة النابذة العجيبة اجزاء التفاحة بسرعات جنونية .

على الغطاء كتابة منقوشة العنصر رقم

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

ولا شيء يتعلق بضمان الحياة . وبالطبع لوحة كهذه ستبدو خيالية حتى فى عالم الخيال الذى يتجاوز الافعال المتبادلة الضعيفة .

يجب الانتباه الى مجموعة من الوقائع « المنسية » . مع كل ذلك لو لم تكن هناك الافعال المتبادلة الضعيفة ، ولو كان النترون جسيما مستقرا ، لامتلأ جدول مندلييف بمئات الارقام ان لم نقل بالآلاف ، ولحدثت بشكل اكبر التغيرات المدهشة فى جدول النظائر .

فى فصل القوى النووية قيل ان النظائر تختلف بكمية النترونات فى النواة عند تطابق عدد البروتونات ، ويمكن ان يكون النظير مستقرا فقط فى الحالة التى تبقى فيها النسبة بين عدد النترونات والبروتونات ضمن الحدود الطبيعية . وعندما يرتفع عدد النترونات عن الحد الطبيعى يبدأ التحلل — β — ولو لم تكن الافعال المتبادلة ضعيفة لما كان هناك خوف من التحلل — β — ولزادت امكانية امتلاء النواة بالنترونات بشكل هائل ، ولصار عندها عدد نظائر الهيدروجين عمليا مجموعة لا نهائية وليس اربعة فقط (والتى بينها فقط الهيدروجين العادى والديوتريوم * مستقران) .

وفى الحقيقة يظهر بالقرب من النظير الالفى سبب جديد للاستقرار متعلق بتغطية النواة العملاقة من قبل الكترونات الذرة التى تدور حول النواة وعلاوة على ذلك يبدأ تأثير اللااستقرار الحرارى والذى سبق الحديث عنه ... والخ .

ولكن بهذا يمكن القول ان هذا عبارة عن ملابسات بالنسبة للوضع فى داخل النواة .

---

* الهيدروجين الثقيل — المترجم .

فى ذلك العالم الغريب حيث نقلنا الخيال يمكن ان تكون ثمة نواة مستقرة طرديا . ويمكن تخصيص خانة خاصة بها تحمل الرقم صفر (قبل الهيدروجين) فى جدول مندلييف . وهذه النواة عديمة الميزوتونات . وفى الواقع لو لم تكن النترونات تتحلل لكان بالامكان ان يتواجد نترون واحد، اثنان، مائة، مليار نترون كمجموعات مستقرة تماما ولكان بالامكان سراستها كتويات ــ نظائر ذلك العنصر الخيالى الذى لا يملك ذرات بكل معنى الكلمة . بديهى ان الالكترونات لا تجذب من قبل النترونات . ان وجود ذرات بدون الكترونات ، وبدون خواص كيميائية لهو فى الحقيقة شيء مدهش !

ولكن لماذا نتحدث عن النترونات فقط ؟ فى الواقع ــ وكما اقتنعنا فان كلمة « غير مستقر » ستكتب حتما فى كل خانة من جدول الجسيمات الاولية . ان « اللااستقرارية » ، كما ذكرنا تتعلق بما يسمى مبدئيا بالافعال المتبادلة الضعيفة . ولو لم توجد هذه الاخيرة فان النترونات والميزونات ــ μ ــ والميزونات ــ π المشحونة والميزونات ــ K والتى تسمى كلها بالهيبرونات ، كانت جميعها ستصبح مستقرة . مثلا الميزونات ــ μ تشبه الالكترونات والبوزترون فى كثير من النواحى . ويوجد بينها ما هو مشحون بشحنة سالبة وما هو مشحون بشحنة موجبة ولكن ذلك لا ينقص من التشابه . هذا التشابه كبير جدا لدرجة يبدو معها الميزون ــ μ وكانه الكترون « ذو وزن زائد » لاسباب غير معروفة حتى الآن . ان وزن الميزون ــ μ فى الواقع اكبر بـ ٢٠٧ مرات من وزن الالكترون .

وماذا عن التحلل ــ ستسألون انتم ــ اليس هذا اختلاف كبير ؟ ان الالكترون مستقر اما الميزون ــ μ فهو يعيش اجزاء من المليون

من الثانية . يمكن الاجابة على هذا بالشكل التالى : تصوروا ذرة فى حالة تهيج . انها ، ايضا غير مستقر : فهى تتحلل مباشرة الى ذرة غير متهيجة وفوتون — ومع ذلك فنحن لا نقول ذرات متهيجة وغير متهيجة — فهذه مجموعات مختلفة بل نفضل استعمال عبارة : نفس المجموعة ولكن فى حالات مختلفة . هل يمكن ان يكون الميزون — μ الكترونا متهيجا ؟

ولكن هذا السؤال الذى يثير الانتباه بعيد قليلا عن الموضوع . نحن نعلم ما هى « الحمولة المجدية » الموجودة لدى الالكترون . فهى تشكل غلاف الذرة وهذا يعنى ، بحالة خاصة ، انها تحدد الخواص الكيميائية . ان حركة الالكترونات تحدد التيارات فى المعادن ؛ الالكترون هو العامل الهام فى كل الاجهزة الالكترونية الضوئية الموجودة ابتداء من الصمام الثنائى البسيط (المصباح ذو القطبين والمستعمل فى محولات التيارات الكهربائية) وانتهاء بالمجاهر الالكترونية والبيتاترونات . ويمكن القول ان للالكترون دورا رئيسيا فى العلم والتكنيك الحديث . فهل تستطيع الميزونات — μ القيام بهذا الدور ؟ ان اللااستقرار يمنعها ... ولو لم يكن هذا موجودا — لاستطاعت الميزونات ان تأخذ على عاتقها القيام بكل الادوار الإلكترونية وبتفوق كبير .

ليس كل ما قيل يتعلق بعالم الخيال ، (لولا وجود الافعال المتبادلة الضعيفة ...) . ان الذرات التى بدلت الكتروناتها مثلا بالميزونات — μ (السالبة طبعا) موجودة فى الواقع . وبالرغم من فترة البقاء القصيرة جدا فان العلماء تمكنوا من تصوير طيفها كاملا ، وهذا شيء ممتع : حيث ان مدارات الميزونات اقرب الى النواة ﺑ ٢٠٧ مرات (بنفس عدد المرات التى هى اثقل فيها من الالكترونات)

ولهذا فالميزونات تشعر بخصائص بنية النواة ويكشف عنها بواسطة اطيافها .

ومادمنا قد تحدثنا عن النظم التي يدخل في تركيبها الميزون - μ فانه يجدر بنا ان نتحدث عن امكانية هامة . تصوروا شيئا ما كذرة الهيدروجين ولكن يقوم بدور النواة فيها الميزون - μ الموجب . ولو كان الميزون - μ مستقرا لكان بالامكان تشكيل جزيئات من هذه الذرات . ولكان بالامكان الحصول على اتحاد كيميائي طبيعي « ماء خفيف فوق العادة » .

ان موضوع « عالم دون افعال متبادلة ضعيفة » يعطينا مجالا للتخيل بحيث اننا نستطيع ان نقوم بمناقشة اشياء غريبة مختلفة . ولكننا اضعنا وقتا كبيرا في الخيال والشيء الوحيد الذي يجدر بنا ان نتذكره هو الهيبرونات .

لو كانت الهيبرونات مستقرة لاغتنى طقم النويات الذرية بشكل عجيب . ولتبين انه يمكن ان تكون ثمة نويات مستقرة من خليط النترونات والبروتونات والهيبرونات المختلفة ونويات من هيبرونات فقط . ومن الهيبرونات الحيادية كان بالامكان تشكيل اجزاء هيبرون نووية حيادية كهربائيا . ولكن حتى التحدث بهذا ليس بتلك البساطة .

لقد اطلقنا خيالنا بما فيه الكفاية . كان بامكان القارىء الذي تعرف على بداية هذا الفصل ، على الارجح ان يتصور ولو بنسبة معينة مدى اهمية الافعال المتبادلة الضعيفة في حياتنا . وكم من « محظورات » وربما « تسهيلات » مختلفة تنجم عنها . وهكذا فان تسمية « ضعيفة » لا تعني على الاطلاق قلة وجود وظهور هذه الافعال المتبادلة الضعيفة . والى جانب هذا توجد لهذه التسمية

اسباب مختلفة . ولكي نفهمها يجب علينا التعرف عن قرب على بعض هذه الظواهر الهامة .

ربع قرن من الوجود الوهمي – قبل حوالى اربعين سنة مضت ظهرت على صفحات المجلات كلمة « نترينو » . هكذا سموا الجسيم الجديد الذى كتب له ان يكون بحق افظع واشهر جسيم فى عائلة الجسيمات الاولية .

لقد دخل العلم بطريقة غير معتادة وظهرت له خصائص عجيبة ودور غير عادى فى الطبيعة .

توجب « ابتداع » هذا الجسيم كى لا ينهار الاساس الذى يقف عليه علم الفيزياء ولانقاذ قوانين حفظ الطاقة . وظهر اول برهان تجريبى مباشر يثبت وجوده فى عام ١٩٥٦ فقط . ربع قرن عاش النترينو * حياة وهمية على صفحات الكتب وفى المقالات العلمية . ومع ان احدا لم « يره » حينئذ فقد خصص له مكانا هاما فى التحولات المتبادلة لكثير من الجسيمات . واولها « ولو بمعنى التأريخ التقويمى » النترون .

لقد تحدثنا كثيرا عن التحلل – β للنترون . ويمكن مشاهدة البروتون والالكترون المتشكلين من جراء ذلك بالاجهزة وبدون جهد كبير . ولكن الغريب هو : فيما لو قيست طاقة النترون قبل التحلل ومقارنتها مع الطاقة التى حصل عليها كل من الالكترون والبروتون لتوصلنا الى تناقض – يبدو ان قسما من الطاقة قد ضاع فى مكان ما . وهكذا بالضبط يظهر الفقدان المدهش للنبض وعزم كمية الحركة .

---

* النترينو Neutrino – دقيقة ذرية متعادلة وبدون الالكترون كتلة – المترجم .

ان قوانين حفظ الطاقة هى القواعد الاساسية التى تمكن الفيزياثيون من وضعها على اساس التجارب والاستنتاجات العديدة . وقد تختلف الطرق المعينة لوصف الحركة . وهكذا فبدلا من الوصف النيوتنى جاء الوصف الميكانيكى الكمى ولكن قوانين حفظ الطاقة بقيت راسخة . وعلاوة على ذلك كانت هى منار العلماء عند التحرك فى المجالات اللامرئية .

وهكذا بينت ظاهرة تحلل ـ β عدم جدوى قوانين حفظ الطاقة وبرز فى علم الفيزياء، ما يمكن ان نسميه « حالة طوارىء » .

فى ذلك الوقت اختلفت آراء العلماء . فقسم منهم حاول التسليم بفكرة مخالفة قوانين حفظ الطاقة ، وهذا القسم علل ذلك بان هذه القوانين موضوعة لعالم « الاشياء الكبيرة » ولعالم الاجسام المرئية وليس لعالم الجسيمات الاولية . ويمكن ان تطبق هذه القوانين فقط « وسطيا » .

ان مسلك كهذا ، بالاضافة الى انه لم يستطع اقناع اغلبية العلماء ، لانه لم ينه كل المشاكل ، لم تكن تكمن فيه خطة تحرك ايجابية فى المستقبل .

ان فرضية العالم النظرى السويسرى باولى تثير الاهتمام بشكل اكبر . تساءل باولى : ماذا لو ولد جسيم جديد مع البروتون والالكترون اثناء تحلل النترون يأخذ معه الكمية غير الكافية من الطاقة ، والدفع وعزم كمية الحركة ؟ نحن لانرى هذا الجسيم ولكن يمكن ان نشرح ذلك بسهولة . يكفى فقط ان نتصور ان هذا الجسيم لا يملك شحنة كهربائية وكتلته السكونية ضئيلة جدا وتساوى الصفر عموما . عندئذ لا يستطيع الجسيم انتزاع الالكترون

من الذرات وتمزيق النويات والقيام عموما ، بكل هذه « التدميرات » التى نحكم بها على تواجد الجسيم .

بالطبع لا يمكن البرهنة على ان جسيما كهذا لا يتبادل الفعل مع اى شيء اطلاقا . وذلك الذى انبعث يمكن بعد ذلك ان يمتص . ولولا ذلك لكان « اكتشاف » النترون يعنى رفض قوانين حفظ الطاقة ولكن بشكل اكثر خداعا وحنكة اى لضاعت الطاقة مع النترينو الى الابد .

رأى « باولى » ان النترينو يتبادل الفعل بشكل ضعيف مع المواد ولذا يمكنه اختراق سماكات كبيرة دون كشفه . نحن نعلم الآن الى اى حد كان « باولى » محقا حين تقدم باقتراح كهذا . فى الحقيقة ان النترينو من اكثر الجسيمات غير القابلة للالتقاط ، فهو يخترق الكرة الارضية بحرية وقادر على دخول الشمس . فقط لو تصورنا كتلة حديدية هائلة بحجم مجرتنا لامتصت النترينو بداخلها بالتأكيد .

ان « الاب المعمد » للنترينو ، والذى سماه بهذا الاسم هو الفيزيائى الايطالى الشهير فيرمى . وهو الذى جعله « شرعيا » بادخاله فى نطاق نظرية الكم الموجودة آنذاك .

ان اعمال فيرمى وسلسلة طويلة من اعمال الذين تلوه اوضحت الوضع تماما . فلقد تبين ان الكتلة السكونية للنترينو تساوى الصفر كما هى عند الجسيم الضوئى الفوتون . ولهذا مغزى بسيط : لا يوجد نترينو ساكن . اذ هو يتحرك بسرعة الضوء بعد ولادته مباشرة .

ان التحرك الذاتى للنترينو معروف بشكل جيد وقد تبين انه بنفس الشكل كما هو عند البروتون او الالكترون وهكذا اخذت المعلومات عن النترينو تتجمع اكثر فاكثر .

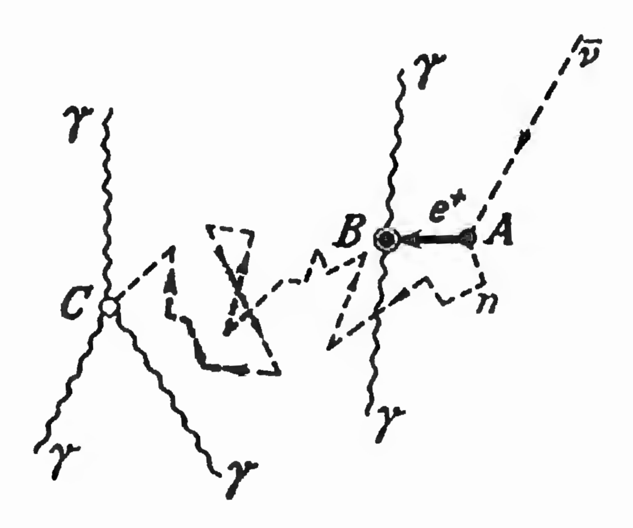
تنبأ العلماء النظريون بانه يجب ان يكون له توأما كما يوجد البوزترون عند الالكترونات . وتسمية التوأم جاءت بنفسها : مضاد النترينو . قد يكون مضحكا ان تلك الجسيمات التى تتكون اثناء التحلل — β للنترون يجب تسميتها بمضادات النترينو وليس بالنترينو وذلك لعدد من الاسباب .

وقد جمع العلماء الكثير من المعلومات عن تحولات الجسيمات التى تشترك فيها النترينوات ومضادات النترينوات . وقائمة هذه التحولات (وسنتحدث عنها فيما بعد) اصبحت الآن واسعة . وتبين انه ليس التحلل — β لوحده هو الذى يجرى بمشاركة هذه الجسيمات اللامرئية . ولكن كيف يمكن الامساك بها ؟ تمكن العلماء من التوصل الى هذا ايضا وقد نفذ هذا بواسطة تجربة بسيطة : وضع بجانب المفاعل النووى الذى يجرى فيه عدد هائل من التحللات — β (وبالتالى يتشكل عدد كبير جدا من مضادات النترينوات) صندوق ذو كتلة كبيرة صنعت جدرانه من مادة



« الرصاص والبارفين » وله سماكة كبيرة بحيث لم يكن بالامكان مرور اى جسيم الى داخل الصندوق سوى مضاد النترينو . وبالرغم من عدم وجود اى عائق امام مضادات النترينوات فان تيارات مضادات النترينوات تتوجه من الاناء الى كل الاتجاهات وبالذات الى « الصندوق » . وهذه التيارات هائلة لدرجة ان كل جسيم من مضاد النترينو يملك احتمالا ضئيلا جدا لامتصاصه فى المادة التى تملأ « الصندوق » ، وان عددا من حوادث الامتصاص يمكن ان تحدث لوقت قصير نسبيا ، بسبب ضخامة عدد هذه الجسيمات . وحسب توقعات العلماء كان على العملية ان تجرى على النحو الآتى : يصطدم مضاد النترينو ($\bar{\nu}$) ببروتون ما فى النقطة A (« الصندوق » ملىء بالماء) مجبرا اياه على التحول الى نترون مع تشكل بوزترون . وهذا يندمج مباشرة بأول الكترون يصادفه فى النقطة (B) معطيا اثنين من الكمات (γ) . وهذه الاخيرة تمر عبر طبقة السائل (المادة التى تبدأ بالاضاءة عند مرور الكم γ عبرهما) الذى يقع قرب الجدران الداخلية « للصندوق » . هذه الاضاءة يسجلها ١٥٠ مضاعف ضوئى — الاجهزة التى تتأثر بأقل كمية من الضوء . وماذا عن النترون المتشكل ؟ بعد جولة قصيرة فى الماء كان يجب ان يختطف بملقط يدخل خصيصا الى الصندوق (النقطة C) ويرافق هذا بالطبع تشكل الكم γ . وكما ترون فان مجموعة من الحوادث يجب ان ترافق التقاط مضاد النترينو . هذا ما اوحت به النظرية . ولكن ماذا ستقول الاجهزة ؟ هل ستسجل يا ترى كل شىء كان قد اوحى به ؟

وفى الحقيقة سجلت الاجهزة اخيرا كل ما كان مفترضا ، بغض النظر عن الثقة الكبيرة لدى الفيزيائيين بذلك . الجسيم



اللامرئى اباح عن نفسه حين وقع فى المصيدة الموضوعة من قبل العلماء .

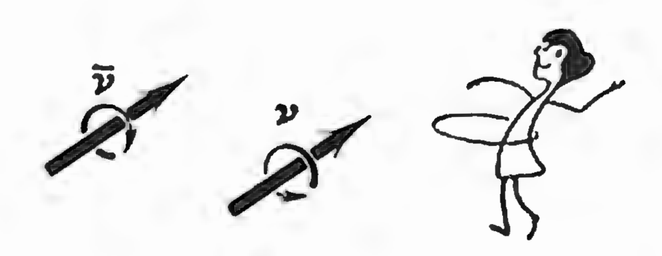
وبدا ان الفيزيائين تمكنوا من « السيطرة » على مضاد النترينو . لقد وصفه العلماء النظريون بثقة تامة واعتاد العلماء التطبيقيون مشاهدته على اتم اليقين . ولكن الطبيعة قدمت مباشرة المفاجأة الدورية للباحثين ، وكأنها تذكر ان الهدوء ممنوع عند التعامل مع النترينو .

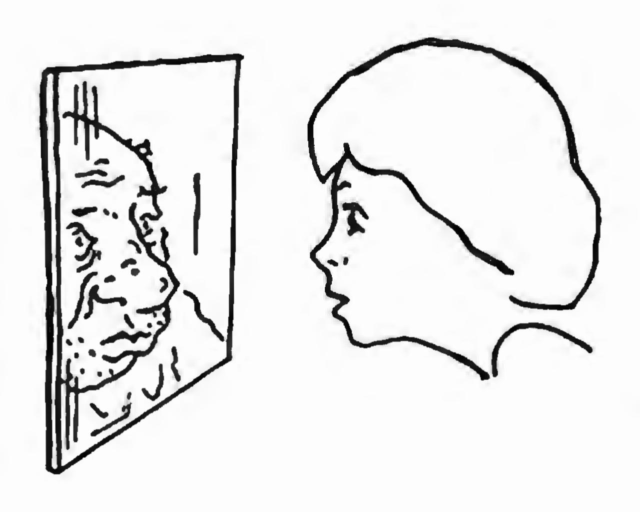
النترينو المنقذ والنترينو المهدم — ان النترينو بولادته انقذ اهم قوانين حفظ الطاقة ولكنه بالذات هدم به قانونا فائق الاهمية عموما . وقبل عام ١٩٥٦ لم يرد الى خاطر احد الشك فى التناظر المرئى للطبيعة . هذا يعنى (كما كان يعتبر) ان اية عملية تجرى فى الطبيعة يمكن ان تجرى بذلك الشكل الذى يرى فيه فى المرآة . اى ان انعكاس اى شىء فى المرآة يمكن ان يكون الشىء نفسه فى الطبيعة . صحيح ان الانسان الذى يتفحص نفسه فى المرآة (ان تعمق فى التفكير) ، يمكن ان يلاحظ بعض الاشياء المثيرة للانتباه : اليمين يتحول الى يسار ، التوأم الخيال فى المرآة يكتب باليد اليسرى ، ولكن هناك من يكتب باليد اليسرى ، وهذا يزرر

المعطف الى الجهة اليسرى ـ ولكن هذه عادة تجبر الرجال على التصرف بشكل آخر . عند « التوأم الخيال » يوجد القلب الى اليمين ، لكن يصادف فعلا ـ ولو نادرا ـ يصادف موضع القلب هذا عند الناس . وبالاختصار ، هنا ايضا يبدو كأننا بشكل ما نتأكد بأن فيما وراء المرآة لا توجد اية عجائب كتلك التي رأتها أليسى : هنا يظهر كل شيء كما يبدو امام المرآة .

ويوجد تناظر الاخيلة ، تناظر اليمين واليسار ولكن هل هذا موجود دائما ؟

لفترة طويلة من الزمن لم يجبرنا على الشك بذلك شيء ، والمعتاد عليه يبدو غير مقبول . ان دراسة النترينو ذكرت الفيزيائيين مرة اخرى : انه لا توجد في العلم حقائق غير قابلة للجدل . قلنا ان النترينو يملك تحركا ذاتيا ، اي له عزم كمية حركة خاص . وفي اللغة التقليدية الواضحة ، يبدو وكأنه ملفوف (نذكر مرة اخرى بمثال الرصاصة المقذوفة من السبطانة المحززة) . لقد تبين ان النترينوات التي تتشكل اثناء تفكك مضاد النترينو ملتفة بشكل معين بالضبط : اتجاه دورانها يشكل لولبا أيسر مع اتجاه الحركة ولا توجد هنا اية استثناءات (كولادة اناس بقلب في النصف الايمن من الصدر) ولكن هذه مخالفة واضحة لتناظر الخيال في المرآة : اللولب ذو الحز الايسر سيظهر في المرآة وكانه ذو حز يميني ، ولكن لا





توجد نترينو كاللولب اليمينى . فالنترينو هو الشىء الوحيد الذى لا يملك خيالا فى المرآة .

هل يعنى هذا اننا اذا وضعنا النترينو امام المرآة (وافترضنا للحظة انه يمكن ان نراها باعجوبة ما) لن نرى اى خيال اطلاقا ؟ نحن لا نؤكد ذلك ، ان الحديث يدور حول ما اذا كان الخيال يملك خصائص لا يمكن للنترينو ان تملكها بشكل من الاشكال (ان كان يمكن قول هذا عن الخيال عموما)

ولكن هذه الخصائص هى نفسها التى توجد عند مضاد النترينو . وهكذا ، فان خيال الجسيم النترينو فى المرآة هو جسيم آخر — مضاد النترينو . ان الامر ليس باقل غرابة من ان تبدو الفتاة الفاتنة عجوزا اصلعا فى المرآة . مفهوم اننا لانقصد بذلك مقارنة نسبة فتنة النترينو ومضاد النترينو ، نحن نريد فقط التأكيد على ان الجسيمات مختلفة . مختلفة وبنفس الوقت متناظرة مع خيالها . ان اثبات هذه الواقعة عن انهيار الثقة بما يسمى « بالتناظر البسيط لليسار واليمين » ، كانت مفاجأة كبيرة بالنسبة للفيزيائيين .

أنتم ترون فى المرآة مضادات أشكالكم — فى عالمنا يظهر

بوضوح التفوق الكبير للجسيمات على مضادات الجسيمات ولكن حسب قوانين الطبيعة الاساسية نجد ان الجسيمات ومضاداتها تملك نفس حق الحياة تماما . مضادات البروتونات ومضادات النترونات يمكن ان تشكل مضادات نويات ، ومضادات النويات مع البوزترون يمكن ان تشكل مضاد الذرة واجزاء من مضاد المادة — اننا لانعلم شيئا عن كيفية ظهور مادة الكون منفصلة عن مضاد المادة بل نستطيع مبدئيا فقط ان نثبت واقعة انفصال كهذه . وحتى عام ١٩٥٧ كان الفيزيائيون يعتقدون انه بتعويض كل الجسيمات بمضادات الجسيمات نحصل على عالم يحدث فيه شيء كما في عالمنا . وكانوا يعتبرون ان للطبيعة خاصية تماثل مثل هذه ايضا . ولكن لنتذكر خصائص النترينو . ان العمليات في العالم الذى استبدلت فيه النترينوات بمضادات النترينوات ، ستجرى بشكل آخر بسبب التفافية هذا الجسيم . ستجرى هذه العمليات كما في انعكاس المرآة الذى يبدل التفافية النترينو . وبالتالى ، من الطبيعى الافتراض بان تفكك مضاد الكوبالت سيحدث بالضبط كتفكك الكوبالت الذى يرى في المرآة .

وبدمج مضادى التناظرين ، الخيالى والشحنى معا نحصل على تناظر اكثر اهمية ، يسمى بمبدأ الزوج المركب او التماثل . وطبقا لهذا المبدأ فان انعكاس اى عملية فى الطبيعة فى المرآة ، يمكن ان يكون على هذا الشكل ، اذا ابدلت الجسيمات بمضادات الجسيمات .

وان كان يعتقد سابقا ان خيال جسم في المرآة يختلف عن نفس الجسم فقط بتبديل اليسار باليمين ، فان الخيال حسب الاعتقادات الجديدة يتصرف كما لو كان مؤلفا من مضاد المادة

خيال النترينو فى المرآة ــ مضاد النترينو ، الالكترون ــ بوزترون والخ . وفى المرآة ترون (اشكالكم المعكوسة) اليسار مستبدل باليمين والجسيمات بمضادات الجسيمات .

تجربة ڤو ــ ان خصائص النترينو غير الطبيعية تشير الى وجود عمليات فى عالمنا تسير بمخالفة التناظر المرئى . ولاول مرة كان ذلك مثبتا تجريبيا فى تجارب الفيزيائي الامريكى ڤو والموضوعة طبقا لمبادىء العالمين النظريين لى ويانغ اللذين اشاروا الى امكانية مخالفة التناظر المرئى . ومخطط هذه التجارب يبدو كالتالى اذا لم نتعمق بالتفاصيل .

يبرد الكوبالت الاشعاعى (Co^{60}) الى درجة حرارة منخفضة جدا ويدخل الى مجال مغنطيسى قوى . وبذلك يتبين ان كل النوات او قسم ملحوظ منها على كل الاحوال ، موجهة : عزمها المغنطيسى وعزم كمية الحركة المتناسب معه ، يوازيان المجال المغنطيسى .

وتقاس كمية الالكترونات الناتجة اثناء التحلل ــ β والتى تطير باتجاه المجال المغنطيسى وكذلك بعكسه . ولو ان التناظر المرئى كان موجودا لوجب ان تكون هذه الكمية متساوية والتأكد من ذلك سهل ، اذا تصورنا الجهاز « المرئى » . وقد اثبتت التجربة بشكل مقنع وجود تناظر عكسى (٦٠ ٪ و ٤٠ ٪ وليس ٥٠ ٪) . وهذه التجارب المكررة فى مختبرات عديدة فى العالم فيما بعد ، لم تدع الشك فى ان التناظر المرئى يختل .

وكما اثبتت التجارب ، فان مخالفة هذا التناظر ممكنة بفضل مضادات النترينو الطائرة مع الالكترونات من النواة والملتفة دائما بشكل محدد بدقة : ان اتجاه دورانها اى لفها الذاتى يؤلف

لوليا ايمنا مع اتجاه الحركة .

وفي النتيجة امكن ملاحظة مخالفة التناظر المرئي اثناء تحلل الميزونات — μ و π . هنا ايضا يظهر النترينو او مضاد النترينو . واضافة الى ذلك نحن الآن نعلم ان التناظر المرئي يخرق في كل العمليات الخاضعة للانفعال المتبادلة الضعيفة . وهذا يخص على سبيل المثال ولادة وتحلل الجسيمات Λ° مع ان النترينو لا يشترك في عمليات كهذه ولكن المفاجآت لاتنتهي بهذا اطلاقا .

عدم بقاء التناظر المركب — ان القيم التي تصف حالة الجسيمات في ميكانيكا الكم (وهي تسمى بالدالات الموجية) تتصرف بأشكال مختلفة اثناء عملية تبديل الجسيمات بمضادات الجسيمات مع الانعكاس المرئي المرافق . وفي عدد من الحالات لا تتغير الدالة الموجية — زوجية موجبة . وفي حالات اخرى تتغير الاشارة — فعندها تكون الزوجية سالبة . وهذه الزوجية المركبة للمنظومة اثناء كل تحولات الجسيمات البسيطة يجب ان تبقى على حالها .

ومن بقاء الزوجية المركبة تنبع سلسلة من النتائج ، التي يمكن التأكد منها بالتجربة . فمثلا (على الاخص) يوجد جسيمان محايدان : الميزونان K°_{L} و K°_{S} اللذان يختلفان عن بعضهما فقط بالزوجية المركبة . فهي عند الجسيمات K°_{S} موجبة اما عند الجسيمات K°_{L} سالبة . ومن جراء ذلك يجب ان تتصرف الجسيمات باشكال مختلفة اثناء التحللات . فالميزونات — K°_{S} يمكنها التحلل الى ميزونين — π ، حيث ان الميزونين — π يملكان زوجية موجبة ، اما الميزونات — K°_{L} فتتحلل الى ثلاثة فقط حيث ان النظام ذا ثلاثة ميزونات — π يكون سالبا . والاختلاف في طرق التحلل يقود الى اختلاف فترات البقاء . والميزونات — K°_{L} تبقى لفترة اطول

من الميزونات — K_S^0 بمائة مرة تقريبا .

وفى صيف عام ١٩٦٤ اشتهرت الابحاث الجديدة التى هزت من جديد اساس نظرية الجسيمات الاولية . فاثناء دراسة تحلل الميزونات — K الحيادية كان قد لوحظ انه على بعد ١٩ م من النشان الذى كانت تحدث فيه ولادة حزمة الميزونات — K^0 ، تتحلل الميزونات — K ليس الى ثلاثة ميزونات فقط وانما الى اثنين ، شوهد هذا باحتمال ضئيل حوالى ٠,٢ ٪ ، ولكن مع ذلك بدون شك اطلاقا .

على بعد كبير كهذا عن النشان لا يمكن ان توجد الميزونات — K_S^0 ، حيث كان عليها ان تتحلل دون الوصول الى الاجهزة التى تسجل التحلل . اذن تحللت الميزونات — K_L^0 الى ميزونين — π . وهذا يعنى مخالفة التناظر المركب اثناء الافعال المتبادلة الضعيفة المسؤولة عن تحلل الميزونات — K الحيادية . ان قانون حفظ الطاقة الذى وضع منذ زمن قريب يخالف نتائج التجارب . والامر هنا ، غير معروف حتى الآن . وهناك اقتراح على انه تظهر هنا تأثيرات قوة ما فوق ضعيفة . ولكن طبيعة هذه القوى غير معروفة على الاطلاق . لم تشاهد بعد اية ظواهر لهذه القوى عدا تلك التى تشابه ما حدث عند تحلل الميزونات — K^0 .

صنفان من النترينوات — فى عام ١٩٦٢ ظهر حدث عجيب آخر فى الفيزياء النترينوية . كنا قد تحدثنا عن الميزونات — μ . وتشابهها مع الالكترونات يتعلق بالافعال المتبادلة مع النترينوات (ومع البوزيترونات ان كان الحديث يجرى عن الميزونات — μ^+) .

وفى تجارب عام ١٩٥٦ كانت النترينوات باصطدامها بالبروتونات تنتج بوزيترونات ولكن لماذا ليس ميزونات — μ^+ ؟ أجاب

الفيزيائيون بان الطاقة لم تكن كافية . ان الميزونات – μ^+ اثقل من البوزيترونات بـ ٢٠٠ مرة تقريبا . وبالتالى يتطلب تشكلها قدرة اكبر بنفس عدد المرات . اما مضادات النترينوات المتطايرة من المفاعل فهى لاتملك احتياطى طاقة كهذا . وماذا لو انها كانت تملك ؟ اجاب العلماء لتشكلت الميزونات – μ^+ بنفس كثرة البوزيترونات .

وبعد لو ان شخصا مدققا استمر يسأل : وان تبين ان مضادات النترينوات السريعة تولد من المفاعل النووى بوزترونات ايضا ؟ لاجاب الكثير من الفيزيائيين على سؤال كهذا بارتياب . ولو كان الامر هكذا لاظطررنا الى الاعتراف بان بين النترينوات « الالكترونية » و « الميزونية – μ » يوجد فرق ما . ولاضطررنا الى الاعتراف بوجود اصناف مختلفة للنترينوات وهذا لا يوافق التصوّرات التى ثبتت عن النترينوات . حتى فى مجال « يافع » من العلم كالفيزياء النترينوية اخذت تتشكل التصورات الاعتيادية .

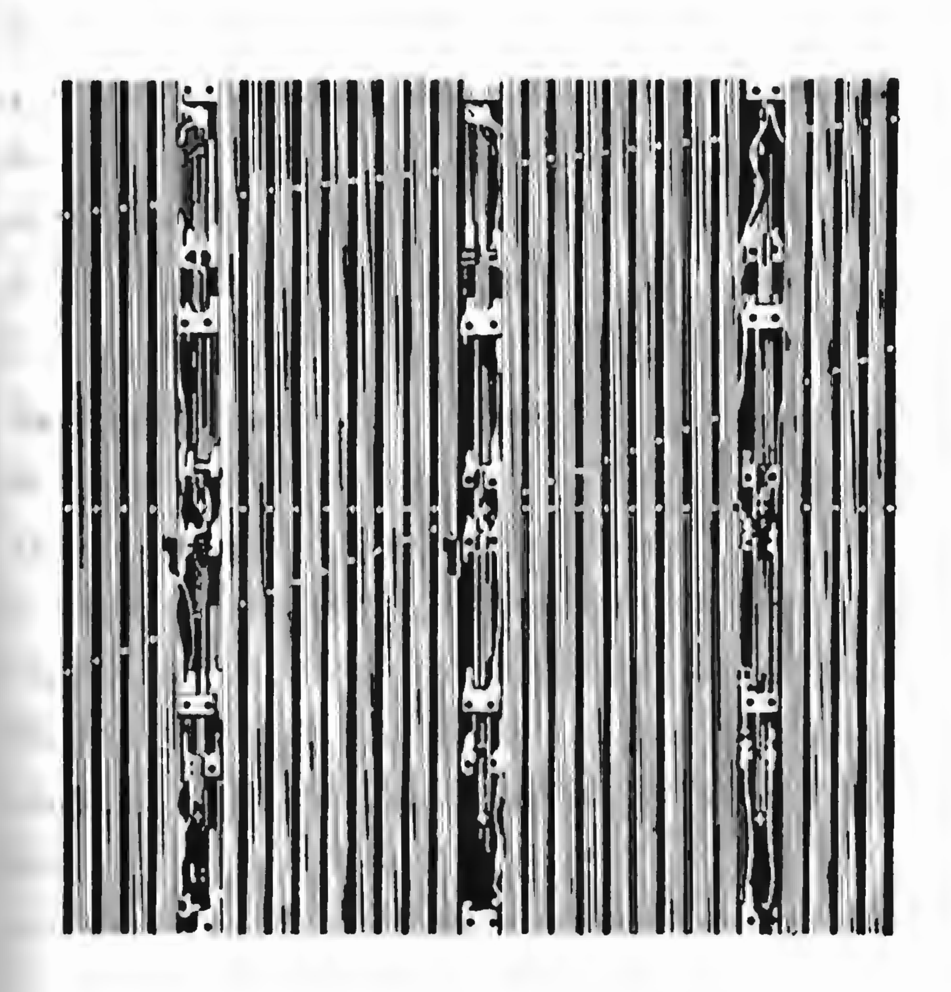
ان مسألة النترينويين بدت واقعية فقط فى اللحظة اللتى ظهرت فيها الامكانية الفعلية لحل ذلك تجريبيا . فكرة التجربة كانت قد اقترحت من قبل الفيزيائى السوفييتى الاستاذ ب. بانتيكورفو . ونفس التجربة قام بها الزملاء الامريكيون بنجاح .

النترونات – منبع ملائم جدا لمضادات النترينوات . ولكن لكى تتولد مضادات النترينوات بطاقة كبيرة يجب بث طاقة للنترينوات مسبقا وبكمية ملموسة . ولكن لا توجد مسرعات للنترونات . هذه الجسيمات محايدة ونحن اليوم لا نعرف سوى تسريع الجسيمات المشحونة . ولكن توجد طريقة اخرى .

من المعروف جيدا انه اثناء تحلل الميزونات – π تتشكل

الميزونات – μ ونترينوات (او مضادات النترينوات) ، واية نترينوات – « كهربائية » او « μ – ميزونية » ؟ وسؤال كهذا لم يكن موجودا منذ فترة قريبة . والآن اذ وضع السؤال فنحن نستطيع ان نجيب بحذر : في كل الاحوال ، هي « μ – ميزونية » على الاغلب . فهي متعلقة بشدة بالميزونات – μ (بالمنشأ العام) . هل هي الكترونية بنفس الوقت؟ نحتاج الى تجربة لاثبات ذلك .

والتجربة التي اجريت عام ١٩٦٢ في مسرع بطاقة ٣٠ مليارد الكترون – فولط في « بروكهيون » ، كانت بالشكل التالي : حزمة البروتونات المسرّعة كانت تطير الى النشان ، مولدة بذلك



تيارات الميزونات — π . وهذه الاخيرة بدورها تتحلل وتعطى الى جانب الميزونات — μ مضادات التترينونات او تترينوات بطاقات كبيرة . وفى الحقيقة لم يكن عددها كبيرا على الاطلاق كما هو فى تجارب المفاعل . ولكن اظهرت الحسابات ان التترينوات المسرّعة تتبادل التأثير مع الجسيمات الاخرى بشكل اكبر من التترينوات البطيئة * . ولتسجيل مضادات التترينوات المولّدة استخدم ما يسمى بالحجرة الشرارية . وهذه الحجرة كانت تحتوى على ١٠ اطنان من صفائح الالمينيوم التى كان ينشأ بينها جهد عال ، فاذا كان الجسيم السريع المشحون يطير عبر الصفائح ، يحصل تفريغ شرارى بين الصفائح على خط المسير . والاثر النارى الذى يظهر جيدا على الصورة يسمح ببساطة بتمييز الميزونات — عن البوزيترونات والالكترونات . ولكى تدخل التترينوات ومضادات التترينوات فقط الى الحجرة كان يوجد عائق محضر لاجل ذلك .

استغرقت المراقبة ستة اشهر . خلال هذه الفترة شوهدت فقط خمسون حادثة ولادة للجسيمات (تذكروا ان الافعال المتبادلة ضعيفة !) . وجميعها دون استثناء كانت ميزونات — μ ! ولم يكن هناك اى الكترون او بوزيترون ! وكان هذا مفاجأة مدهشة . برهن على وجود شكلين للتترينوات ولمضادات التترينوات ، « الكترونية » و « μ — ميزونية » .

وما هذه الاصناف ؟ ما هى الفروق بينها ؟ ما هى تفاصيل القوانين التى تتحكم بها ؟ اننا لانعلم بعد . لقد ظهر لغز جديد امام العلماء ويجب حلّه .

---

* الكلمة « سريعة » والكلمة « بطيئة » تدلان حل اختلاف الطاقة فقط اما السرعات فهى واحدة دائما ومطابقة لسرعة الضوء .

وقد ترد لدى القارىء فكرة ان النترينوات جسيمات عنيدة وناكرة . وفى الحقيقة انها مرة ساعدت الفيزيائين عندما انقذت قانون حفظ الطاقة . ولكن فيما بعد تلاعبت عن عمد واضعة عراقيل مختلفة امام العلماء فى كل خطوة . ومضت اربعة عقود تدرس فيها النترينوات . ومن جديد يبدو وكأنه يتوجب البدء من جديد ..

ان الامر ليس هكذا بالضبط . مهما كان هذا الجسيم حركا فانه لم يتمكن من الاختفاء كليا . نحن نعلم عنه الآن الشيء غير القليل ونحزر الكثير . نعلم مثلا الشيء غير القليل عن الافعال المتبادلة بين النترينوات والجسيمات الاخرى ، عن التحللات التى تشترك فيها النترينوات وعن التحولات التى تسببها النترينوات .

الكيمياء النترينوية – سنعرض على سبيل المثال بعض التحللات التى تظهر فيها النترينوات فى الجيل الاول (ان نواتج التحلل يمكن ان تكون بنفسها غير مستقرة وتولد النترينوات حين تتحلل) .

$\mu^- \to e^- + \nu + \bar{\nu}$ – تحلل الميزون السالب – μ الى الكترون ونترينو ومضاد النترينو * .

$\pi^+ \to \mu^+ + \nu$ تحلل الميزون – π الموجب الى ميزون – μ موجب ونترينو .

ان اقنية التحلل الثلاث للميزون – K الموجب :

$$K^+ \to \mu^+ + \nu$$
او
$$K^+ \to \mu^+ + \nu + \pi^0$$
و
$$K^+ \to e^+ + \nu + \pi^0$$

* سنرمز الجسيمات بأحرف . ويمكن فهم فكرة الرمز بسهولة اذا نظرنا الى جدول الجسيمات الاولية (ص ٢٥٨ – ٢٥٩) .

ممكنة لان الميزون — K جسيم ثقيل نسبيا . واحتياطي الطاقة هنا كاف لولادة القطع الثلاث . فى تلك الحالات عندما لا يتشكل الميزون الحيادى — π فان فائض الطاقة يقتسم بين الميزون — μ (او البوزيترون) والنترينو .

وفي النهاية نذكر مرة اخرى بمثال التحلل — β الى بروتون ، الكترون ومضاد النترينو . في هذه التفاعلات كما في اية تفاعلات اخرى توجد بين الجسيمات الاولية خصائص مدهشة أولها ان الرموز المشيرة الى الجسيمات يمكن « نقلها الى الطرف الآخر من السهم » . ولكن نبدل اثناء ذلك الجسيمات بمضادات الجسيمات . اضافة الى ذلك يمكن تبديل اتجاه السهم. هذا يعنى ان كل تفاعل يمكن ان يجرى (بالاتجاهين سوية) بالاتجاه العكسي وبالاتجاه المباشر ايضا .

لنطبق هذا مثلا على تفاعل التحلل — β للنترون . كتبنا المعادلة فى البداية على الشكل التالى :

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

لننقل الآن الالكترون الى اليسار ولنغير اتجاه السهم . تنتج المعادلة التي تجرى حسب الشكل :

$$n + e^+ \leftarrow p + \nu$$

ولكن هذه المعادلة هى الصديقة القديمة . هى نفسها المعادلة التى اتاحت لنا للمرة الاولى مشاهدة مضاد النترينو ! فى الواقع كلماتها تقرأ هكذا : ان نظام مضاد النترينو والبروتون بعد اصطدامهما يتحول الى نظام من نترينو وبوزيترون .

والتلاعب المماثل بالرموز يقود الى طريقة ناجحة للتنبؤ بسلسلة

تفاعلات كاملة للجسيمات . ولنعد مرة اخرى الى « مسألة التربنويين » . لنتأمل معادلة تحلل الميزون ـ π الموجب مثلا :

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$$

ان كتابة رمز « ν » فقط للاشارة للتريتو لا يجوز الآن . بما ان هذا الجسيم يظهر مرافقا للميزون ـ μ فمن الطبيعى تسميته « نترينو ميزونية ـ μ » والرمز له على سبيل المثال : ν_μ . ولنتذكر الآن قاعدتنا . فهى تمكننا مباشرة من كتابة معادلة مدهشة :

$$\nu_\mu + \pi^- \rightarrow \mu^-$$

اى انه حين الاصطدام بالميزونات ـ π السالبة (وهى تتواجد دائما بكمية كافية فى الغلاف الميزونى الملتف حول اى بروتون او نترون يدخل فى تكوين النويات الذرية) يتوجب على « التربنوات الميزونية ـ μ » توليد ميزونات ـ μ لا الكترونات .

وهذه الاعتقادات ترسخت فى اساس التحليل النظرى لتجارب الكشف عن التربنويين الاثنين الا ان تلاعبا كهذا بالرموز يملك حدودا صعبة لا يفهم مضمونها احد بعد .

انظروا الى جدول الجسيمات الاولية (ص ٣٥٨ ـ ٣٥٩) . توجد هناك مجموعة جسيمات خفيفة ـ الليبتونات ، يدخل فيها بالذات النترينويان (الالكترونية والميوونية ـ μ) والالكترون والميزون ـ μ مع اربعة مضادات جسيمات توافقها .

وقد تبين انه اثناء اية تفاعلات بين الجسيمات وولادات وتحطمات جميع الجسيمات يتحقق قانون لا جدال فيه : الفرق بين عدد الليبتونات ومضادات الليبتونات قبل التفاعل يساوى نفسه بعد التفاعل ، انظروا على سبيل المثال الى معادلة تحلل النترون . قبل التفاعل لم تكن

هناك ليبتونات ــ بعد التفاعل يظهر ليبتون واحد ــ الكترون ومضاد ليبتون واحد ــ ومضاد نترينو ــ فرق عدد الليبتونات بعد التفاعل يساوى الصفر . وهكذا يحدث دائما . يوجد قانون حفظ عدد الليبتونات المماثل لقانون حفظ الجسيمات الثقيلة ــ الباريونات ــ ولقانون حفظ الجسيمات المشحونة كهربائيا .

اذن لماذا يبقى فرق عدد الليبتونات ومضادات الليبتونات فى الكون ثابتا ؟ هنا لا يبقى لنا شيء سوى ان نرفع ايدينا . ثمة احصائية ، مأخوذة فى الوقت الحاضر ، لتفاعلات تشترك فيها الليبتونات وهى تمكننا بثقة من الافصاح بان هذا سيبقى كذلك* .

ومن المهم جداً ان قانون حفظ الليبتونات يتيح بثقة تامة التنبؤ مسبقا بالتفاعلات التى لا يمكن ان تجرى بين الجسيمات .

كان من المرهق ومن غير المفيد ابدا تسجيل جميع التفاعلات التى تشترك فيها النترينوات بدقة متناهية . ونحن لن نفعل ذلك . المهم ايضاح شيء آخر : ماذا كنا نقصد بالذات عندما تكلمنا عن « ضعف الافعال المتبادلة » ؟

٢ ــ ثابت الافعال المتبادلة وتحول الجسيمات الاولية

لنفكر مرة أخرى : ما هى الشحنة ؟ ــ كنا قد تحدثنا عن ذلك التغيير الذى عاناه مفهوم الشحنة . نعود مرة اخرى الى هذا كى

* ان حفظ الشحنة الكهربائية وعدد الجسيمات الثقيلة يبقى على نفس الحال نظريا . اما لماذا تتحقق هذه القوانين فهذا غير واضح اطلاقا كما هو شأن تحقيق قوانين بقاء الليبتونات .

نجمع ما علمناه . ستؤكد : ان كل ما ستتحدث عنه الآن عبارة عن جوهر مفهوم « الشحنة » كما نفهمها الآن .

الشحنة الكهربائية : اقدم شحنة فى عائلتها (ان لم يجر الحديث عن شحنة الجاذبية التى تتمتع بمكانة خاصة) . و« طفولتها » متعلقة بنظرية الكم الكلاسيكية واكثر من ذلك ببساطة بالميكانيكا . فالميكانيكا كما تذكرون مبنية على اساس الوصف بمساعدة ادخال القوى . وليس غريبا ان الشحنة الكهربائية كانت تفهم لفترة طويلة كوحدة قياس لقوة تأثير نقطة مادية مشحونة بأخرى .

ان المفهوم المكسويللى للمغنطيسية الكهربائية غيّر هنا القليل فقط . كان التأكيد منصبا على الوسيط بين الافعال المتبادلة الكهربائية والمغنطيسية فى المجال . وبقيت كالسابق الشحنة بالذات مقياسا للقوة ــ للقوة التى يؤثر بها المجال على الاجسام . وفى الحقيقة ان هذا لم يعطل دورها . وبرأى ماكسويل فان الشحنة هى التى تحدد قابلية الاجسام لتكوين المجال نفسه .

لقد ادخلت مبادئ الشرح الكمى تفاصيل جديدة . وفقد الوصف باستخدام القوى معناه . وصار تبادل الفعل بين الاجسام المشحونة كهربائيا ، كنتيجة لتبادل كمات المجال المغنطيسى ــ الفوتونات . ولو اننا لم نكن نعلم انه لا يوجد اى احتياطى للفوتونات فى داخل الالكترونات ، وليكن لا يوجد ، لكان من الممكن ان نتصور ان الكمات المغنطيسية الكهربائية قادرة على السيلان ، من والى الجسيمات ، مثلها كالسائل المنساب عبر الثقب . عندئذ بدا كما لو ان الشحنة تحدد عرض هذه الثقوب بالتقريب : كلما كانت اعرض ، كلما كبر تيار الكمات ولكن لا يوجد بالطبع اى اثر لهذا الاحتياطى ونقول ببساطة ان الشحنة الكهربائية تحدد درجة شدة

انطلاق (او امتصاص) الفوتونات من قبل الجسيمات المشحونة او مجموعاتها .

وهنا لا يجوز عدم التأكيد على واقعة ، طالما بقيت فى الفصول السابقة فى الظل (قد يكون سبب ذلك هو ان البحوث جرت من وجهة نظر مختلفة بعض الشيء) هذه الواقعة تتضمن ما يلى : اى جسيم ، الكترون ، بروتون ، ميزونات — μ او π مشحونة ، (يمكن انتقاء جميع الجسيمات التى تملك شحنة كهربائية من الجدول) لايعانى من اية تحولات اثناء اطلاق او امتصاص فوتون . وبعبارة ادق : تقريبا ولا يعانى اية تحولات — حيث ان هذه الجسيمات تفقد طاقة او تحصل على طاقة . ولكن هذا يخص فقط تغييرات وضع الحركة .

وهكذا توجد حلقة واسعة من العمليات التى يغير فيها ، تبادل التأثير مع الفوتونات ، حالة حركة الجسيم ولكن لا بسبب تحولها المتبادل * .

وهذه الواقعة الرائعة بالاخص « تتيح » للافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية فى حالات كثيرة ظهورها بطابع غير كمى . اما الافعال المتبادلة النووية فهى لا تتمتع بخصائص كهذه او قد تحتوى على بعض آثارها فقط .

يتم تبادل الكمات اثناء الافعال المتبادلة النووية ايضا . ولكن لا بالفوتونات بل بالميزونات . ومن جديد يمكن التحدث عن

---

* هذه بعض الامثلة عن العمليات التى تتعلق فيها الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية بتحولات الجسيمات : ولادة واندماج الزوج : الكترون - بوزيترون ، تحلل الميزون — π^0 الحيادى والهيبرون الحيادى — Σ^0 .

الشحنة — النووية فى هذه الحالة — كمقياس لشدة اطلاق البروتونات والنترونات من قبل كمات المجالات الميزونية التى تنقل الافعال المتبادلة — ولكن توجد هناك فروق ملحوظة بحيث انها سببت تغيير الاصطلاح بالنسبة لبعض الحالات .

الشحنة — ثابت الافعال المتبادلة — اليكم فيم يكمن الاختلاف الاول : عند اطلاق الميزونات المشحونة يحدث تحول الجسيمات — المصدر . وهذا شيء جديد بالمقارنة مع الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية . يمكننا القول ان عمليات الافعال المتبادلة النووية (او بكلمة اخرى القوية) تكون مصحوبة بصورة عامة بتحولات متبادلة للجسيمات . ولا يحدث هذا فى حالة واحدة : عندما يكون المنطلق او الممتص ميزونا محايدا . فى كل الحالات المتبعة تكون الافعال المتبادلة النووية متعلقة ليس فقط بتغير حالة الحركة وانما بتغير صنف الجسيم ايضا . وفى هذا العالم تلعب الشحنة النووية دور المقياس الكمى ، الذى يدل على التردد والكثافة التى تجرى بها هذه التحولات المتبادلة ، وهذه التغيرات الفجائية المتنقلة .

غير ان ناحية الامر المؤكدة من قبلنا غير واضحة بعد . والشبه كبير جدا بين البروتونات والنترونات . ولو انه عطلت الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية فجأة لكان من غير الممكن اطلاقا تمييز بعضها عن بعض ، لذا كثيرا ما يقال ان هذه ليست بجسيمات مختلفة وانما « حالات شحنية » مختلفة لجسيم واحد بذاته . ولكن الافعال المتبادلة لا تخص النوكلونات وحدها . فبشدة ظاهرة تتبادل الافعال كل من الهيبرونات (الجسيمات الاثقل من النترون والبروتون والتى يرمز لها بالجسيمات — Λ ، — Σ ، — Ξ) وكذلك الميزونات — K . وهنا تظهر بوضوح خاصية الافعال المتبادلة القوية . اى انتقالها من

جسيمات الى اخرى . وفى النهاية الافعال المتبادلة الضعيفة ، وهذه نادرا ما تقرن عند الفيزيائيين مع التصورات عن شىء يذكر ولو بشكل بعيد بالافعال القوية . وتسمى الشحنة هنا « بثابت الافعال المتبادلة الضعيفة » وكانه تأكيد على انها بعيدة بمفهومها عن مماثلاتها الكلاسيكية . وبالمناسبة يمكن الحديث كذلك تماما عن ثابت الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية ، بدلا عن الشحنة الكهربائية .

ويفضل الفيزيائيون فى حالة القوى النووية التحدث عن ثابت الافعال المتبادلة القوية وليس عن الشحنة النووية او الميزونية . حقا ان ثابت الافعال المتبادلة الضعيفة يقع فى صف واحد مع المقادير التى تصف الافعال المتبادلة الضعيفة الاخرى . ان اى ثابت فعل متبادل يحدد فى نظرية الكم (سنبدأ بالتعود على هذا الاصطلاح الذى يحل محل اصطلاح « شحنة ») . مدى سرعة تحولات بعض الجسيمات الى اخرى . ثابت الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية يحول اية جسيمات مشحونة الى نفس الجسيمات (ولكن بحالة متغيرة للحركة (زائد فوتون. ثابت الافعال المتبادلة النووية — تحولات الباريونات المتبادلة بالاشتراك مع ميزونات اخرى من π و K . وفى الختام « الشحنة الضعيفة » ثابت الافعال المتبادلة الضعيفة كالمقادير السابقة تحدد شدة حدوث التحولات بالاشتراك مع النترينوات ومضادات النترينوات . سنرى فيما بعد ان دورها لم ينته ولكن لن نستبق الاحداث .

قوانين حفظ الشحنات الباريونية والليبتونية — والآن بعض الكلمات عن ميزة اخرى للشحنة الكهربائية عن غيرها ، التى ، بشكل اساسى ، ادت الى ان توصف القوى بثوابت الافعال المتبادلة وليس بالشحنات . (لابد انكم لاحظتم ان تبديل كلمة « شحنة » القصيرة بثلاث كلمات

طويلة — « ثابت الافعال المتبادلة » — يسبب المصاعب الانشائية عند الاستعمال كثيرا) .

واصطلاح « شحنة » لم يطرد من مجال الافعال المتبادلة القوية والضعيفة ، انه فقط لم يعد يميزها كميا حيث تحول الى عدد كمي باق . واليكم سبب هذا حتى الآن لم ننتبه الى ان الشحنة الكهربائية مزدوجة ، فمن جهة تصف شدة الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية ، ومن جهة اخرى هي مقدار باق وكما تذكرون ان المجموع الجبرى للشحنات الكهربائية في النظام المغلق يبقى ثابتا . وهذان الدوران للشحنة غير مرتبطين عضويا . ولا يوجد للطبيعة قانون كهذا يتطلب حفظ ثابت الافعال المتبادلة لاى من القوى .

فللقوى المغنطيسية الكهربائية هذا صحيح ، اما للقوى النووية والضعيفة فانه غير صحيح . وفي الافعال المتبادلة الضعيفة والقوية ، اى في الديناميكا الكهربائية نجد ان ادوار الشحنة تتمزق . وتنتج قيمتان غير مرتبطتين . احدها تصف شدة الافعال المتبادلة والاخرى بقاء عدد الجسيمات : الباريونات او الليبتونات . لقد كان من المعقول الاحتفاظ باصطلاح « شحنة » تهربا من الخطأ في احدى هاتين القيمتين . وهذا ما جرى . فاصطلاح « شحنة » صار يستعمل للاعداد الكمية التي تم صيانتها وليس لوصف الافعال المتبادلة . وبالطبع كان بالامكان التصرف بشكل آخر .

ولنتذكر اولا ما يسمى الآن بالشحنة الباريونية . انتم تعرفون ان عدد الجسيمات الثقيلة (الباريونات) يبقى ثابتا وبالادق يبقى الفرق بين عدد الباريونات ومضادات الباريونات ثابتا . كذلك يبقى الفرق بين عدد الجسيمات المشحونة الموجبة ثابتا . وهذه العملية التجريبية يمكن ايضاحها بالشكل التالى : ادخال عدد كمي جديد يأخذ

القيمة (+١) لجميع الباريونات والقيمة (-١) لجميع مضادات الباريونات ، وتسمية هذا العدد بالشحنة الباريونية . ان ثبات عدد الباريونات عند ذلك هو ثبات المجموع الجبرى للشحنات الباريونية . وهكذا ظهرت لدى الباريونات صفة جديدة - الشحنة الباريونية . مع العلم ان هذه الصفة الجديدة لا ترتبط بثابت الافعال المتبادلة القوية التى لا تحفظ .

ان ثابت الافعال المتبادلة القوية للبروتونات ومضادات البروتونات واحد - ليس فقط بقيمته ، ولكن باشارته ايضا . لذا وعند اندثار زوج من البروتونات ومضاد البروتون فان ثوابت افعالها المتبادلة تنعدم فقط . وفى ذات الوقت فان المجموع الجبرى للشحنات الكهربائية لا يتغير حيث ان ثوابت الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية تملك اشارات مختلفة عن اشارات الشحنة الكهربائية .

ان وجه التطابق بين الشحنة الباريونية وثابت الافعال المتبادلة القوية هو ان كل الجسيمات التى تملك شحنة باريونية تتبادل الفعل بقوة . والالكترونات والليبتونات الاخرى محرومة من ذلك . ولا توجد شحنة باريونية عند نواقل الافعال المتبادلة النووية والميزونات - π و K كما هو الامر عند الفوتونات التى ليس لها شحنة كهربائية .

وفى عالم الاجسام الكبيرة لا يوجد اى قانون للحفظ يؤكد ولو جزئيا قانون بقاء الشحنة الباريونية. ولو ان قانونا كهذا كان موجودا لقاد الى حالات عجيبة . لنتصور لدقيقة انه يوجد قانون حفظ الشحنات الانسانية . عندها لكان الرجال والنساء يولدون ازواجا فقط ولكان بامكانهم فى المستقبل التواجد لفترة غير محدودة . ولاختفوا مباشرة عند اول محاولة لتشكيل عائلة (على الاقل من اجل المجتمع) .

هكذا بالذات وضع الاشياء فى عالم الجسيمات الثقيلة . وبشكل

مماثل يتوقف امر الليبتونات التى تشترك دائما بلا استثناء فى الافعال الضعيفة . الفرق بين عدد الليبتونات ومضادات الليبتونات كما قلنا مصان بحيث ان بقاء عدد الليبتونات لا يتعلق بثابت الافعال المتبادلة الضعيفة (سنقول هكذا للاختصار) . ويمكن صياغة قانون بقاء عدد الليبتونات كميا بشكل بسيط ، فيما لو اضيفت الى كل مضادات الليبتونات الشحنة الليبتونية (+ ١) والشحنة (— ١) لتوجب عندئذ على المجموع الجبرى للشحنات الليبتونية ان يبقى ثابتا .

وباكتشاف صنفى النترينوات صار قانون بقاء عدد الليبتونات اكثر تعقيدا . ولايضاح التحولات الممكنة فى الليبتونات يجب اخذ شحنتين ليبتونيتين مختلفتين . ويتوجب اضافة شحنة الكترونية ليبتونية للالكترون وللنترينوات الالكترونية ، اما للنترينوات الميوونية والنترينوات الميزونية — μ فتضاف شحنة ليبتونية ميزونية — μ (هنا لم توضع بعد الاصطلاحات بشكل كامل لذا نضطر الى استخدام تسميات معقدة كهذه) مع العلم ان هاتين الشحنتين غير متعلقتين بعضهما ببعض . والمجموع الجبرى لهذه الشحنات ولغيرها لا يتغير اثناء اية افعال متبادلة بين الجسيمات .

ومن الجائز ان تكون الشحنة الكهربائية قادرة على اخذ وظائف ثابت الافعال المتبادلة والعدد الكمى الذى يبقى مصانا بسبب ان ثابت الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية يمكن ان يملك اشارتين مختلفتين : فالى جانب الجذب يوجد ثمة تنافر . وهذا غير موجود فى الافعال المتبادلة القوية والضعيفة ولذا لا يجوز جمع وظائف كهذه . وبالمناسبة لا يوجد وضوح كامل حول كل هذا .

نتيجة ، لعلها أهم ما فى الكتاب — والآن بعد الرحلة فى مجال قوانين الحفظ الجديدة يمكن تجميع بعض النتائج عما نعلمه عن

الافعال المتبادلة . ان كل ثابت للافعال المتبادلة يحدد بمدى الحيوية التي تجرى بها التحولات الى مجموعات معينة من العمليات القريبة بعضها من البعض . (وتعني كلمة « قريب » من حيث الجوهر في غالب الاحيان فقط ، انه في المرتبة المعينة للتحولات يمكن استخدام نفس ثابت الافعال المتبادلة) .

والى يومنا هذا توجد اربعة اشكال للثوابت هذه (اذا اخذنا ثابت الجاذبية معها) . اربعة فقط ! وكل الحوادث المختلفة الاشكال اللانهائية في عالمنا المحيط تتعلق بها .

ان احدى اهم المسائل امام الفيزيائين هو القياس الدقيق لمختلف ثوابت الافعال المتبادلة . وهذا ليس من السهل دائما . وليس ايام كولون فقط التي مضت بل وايام ميليكين ايضا . والاكثر وضوحا هو مقارنة طاقات الافعال المتبادلة المختلفة للجسيمات (على ان تكون على مسافات معينة) ، وليس مقارنة الثوابت . واذا اتخذنا فرضا جهد الافعال المتبادلة النووية (اميزونية) كوحدة قياس فان الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية تشكل ١٠⁻٢ والضعيفة ١٠⁻١٤ من هذه القيمة . ومن الصعب هنا الشك في مدى صحة تسمية الافعال المتبادلة الاخيرة بالضعيفة .

ولكن كما هو الامر في كثير من الحالات لا يجوز هنا النسيان بان « ضعيفة » ليست مرادفة لـ « غير ملحوظة » ابدا .

القوى في الطبيعة وقوانين حفظ الطاقة – اذا ابتعدنا عن التطورات الافتراضية للجواذب يمكن ان نثبت بان ثمة ثلاثة اشكال من القوى تسبب تحولات الجسيمات الاولية من واحدة الى اخرى . والسؤال الاساسي ، ابو الاسئلة : ما هي التحولات الممكنة للجسيمات ؟ الجواب عليه بسيط للغاية . ان الافعال المتبادلة

الضعيفة ، والمغنطيسية الكهربائية القوية جاهزة للقيام بتحويل كل شيء ، الى آخر . يوجد وفي العالم نظام نسبي واستمرارية نسبية فقط لانه توجد موانع قوية هي قوانين حفظ الطاقة ! وكل ما يمكن ان يحدث دون مخالفة قوانين حفظ الطاقة يحدث في الحقيقة تحت تأثير ثلاث قوى .

وحسب تعبير كينيت فورد : في عالم الصغائر تعم الديمقراطية الكاملة . وتستطيع الجسيمات التصرف حسبما تشاء ضمن حدود القانون . واذا كان يعتقد سابقا ان القوانين الاساسية تحدد ما يمكن (ما يجب) ان يحدث فالآن يتوجب اعتبار اهم القوانين هي التي تثبت ما لا يمكن ان يحدث . وقوانين الحفظ هي كذلك . وهي تمنع (العمليات) التي يجب ان تبقى المقادير فيها مصانة ولكنها ثابتة .

واخيرا ان هذا التغير في المفاهيم عن قوانين الطبيعية مقيد ببساطة بطابع احتمالية قوانين الكم للحركة ولتحولات الجسيمات الاولية .

ان طابع الاحتمالية للقوانين بالذات لا يسمح بتأكيد ما سيحدث عند اصطدام جسيمين . عند اصطدام البروتون السريع بالنترون يمكن ان تظهر مختلف الجسيمات على الاطلاق . يمكن ان تولد ثلاثة ميزونات — π وزوج ميزونات — K . وبنفس الجهد يمكن ان تكون الميزونات خمسة وهلم جراً — في مجموعة كبيرة من التجارب المتماثلة قد تحدث كل الاحتمالات . ان احتمالية النتائج النهائية للاصطدامات مختلفة ، ولكن كل منها لا يساوى الصفر اذا لم تخالف قوانين الحفظ .

لذا فدائما يمكن التنبؤ بما لا يحدث ، ولكن لا يجوز ابدا التأكيد مسبقا على ما سينتج فى نهاية التفاعل .

على أى شىء يرتكز عالمنا ـ يتعجب البعض من عدم استقرارية اغلب الجسيمات ، لاول نظرة على عالم الجسيمات الاولية ـ وفى الحقيقة يجب التعجب من هذا . فالتحولات المتبادلة هذه هى نمط حياة الجسيمات الاولية تحت تأثير الاشكال الثلاثة للقوى . ولا تتوقف ابدا التحولات القصيرة الزمن للجسيمات من واحدة الى اخرى . واذا لم يكن هناك اعتراض من قبل قانون حفظ الطاقة (قوانين الحفظ الاخرى تتحقق فى عمليات كهذه) فانه عاجلا ام آجلا سيحدث تحول واقعى : الجسيم الثقيل يتحلل الى جسيم اقل خفة .

ولا شىء اثناء ذلك يعرقل العملية العكسية : الجسيمات الوليدة الملتقية معا ستمترج متحولة الى جسيم أم . ولكن لقاء كهذا قليل الاحتمال . ان الجسيمات تتطاير من مكان ولادتها ، وبما انه لا توجد لعالمنا كثافة من الجسيمات ، فان اللقاء بين الاخوة والاخوات ، عادة ، لا يحدث . فهى ستتحلل اولا ان لم تكن مستقرة . ان كل عمليات عالم الدقائق عكسية وخاصة تحولات الجسيمات ، ولكن العملية العكسية للتحلل فى الظروف العادية قليلة الاحتمال وعلى ما يبدو فان العمليات العكسية تجرى بنفس مقدار العمليات المباشرة فقط فى حالات الكثافة الفائقة للمادة داخل النجوم الثقيلة . لذا يجب التوقع ان الجسيم المولود لا يمكنه البقاء طويلا . والامر كذلك عدا بعض الاستثناءات . وعددها خمسة استثناءات اذا لم تحسب الجسيمات العكسية : الفوتون ، صنفا النترينو ، الالكترون والبروتون . ومن العجب ان الجسيمات المستقرة ما تزال موجودة .

ليس من الصعب فهم ان النترينو والفوتون مستقران . فهما اخف

من الخفيف . كتلتهما السكونية قد ساوت الصفر ، ولا يمكنها التحلل الى جسيمات اكثر خفة ، وبدا انه يجب على جميع الجسيمات الاخرى التحلل الى فوتونات ونتريونوات . وهذا لا يعارض قانون حفظ الطاقة ولكن الجسيمين ــ الالكترون والبروتون ــ يهربان من التحطم الذاتي ، لماذا ؟ فقط بسبب قوانين الحفظ الخاصة . ونحن لا نعلم ، لماذا تبقى الشحنة الكهربائية مصانة فى الطبيعة ، ولكن بمعرفتنا انها مصانة يمكننا ان نفهم سبب استقرار الالكترونات . الالكترون ــ اخف الجسيمات المشحونة ولهذا السبب لا يستطيع التحلل . والجسيمات الاكثر خفة ــ الفوتون والنترينو ــ غير مشحونة . لذا فان تحلل الالكترون يقود الى مخالفة قانون حفظ الشحنة . وان تحقيق استقرار الالكترون هو اجل خدمة لقانون الحفظ هذا .

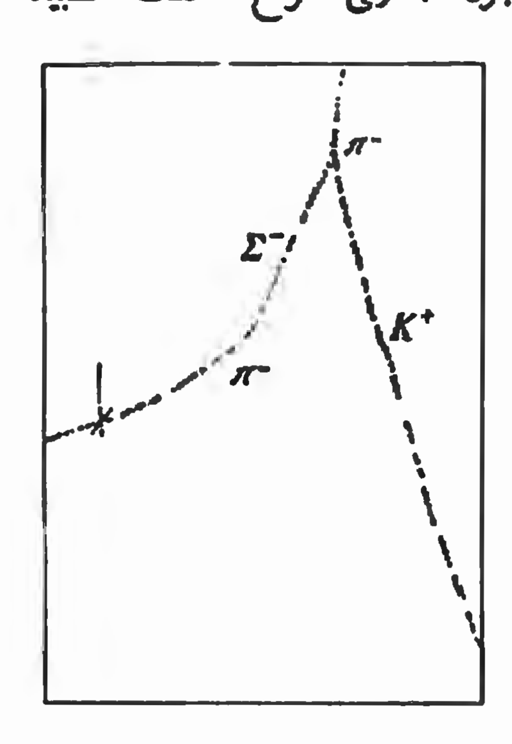
ان البروتون لا يتحلل بسبب كونه اخف الباريونات ، بغض النظر عن الامكانيات المختلفة لتحلله الى ميزونات وليبتونات ، وعن فائض الطاقة السكونية بالمقارنة مع الجسيمات الخفيفة . ان استقرار النويات وهذا يعنى كل الكون ، يرتكز على قانون حفظ عدد الباريونات . هذا القانون يعتبر عائقا بالنسبة لتحلل البروتون الى جسيمات اخرى .

ومن المروع التفكير بما كان يمكن ان يكون لولا قوانين حفظ الشحنات الكهربائية والباريونية . لاصبح امامنا العالم كركام كئيب من الفوتونات والنترينوات ، التى نادرا ما انتجت تشكلات سريعة الزوال ، والتى تعود على الفور الى خمود فوتونى نيترينوى . وحتى الطبيعة القوية لم تكن قادرة عندئذ على خلق كائنات مفكرة ذكية مثلنا (خلال زمن ١٠⁻¹⁰ ثانية) . ليست الشحنات الكهربائية والباريونية والليبتونية هى المحفوظة فقط . انما توجد اعداد كمية

(من الكم) اخرى مصانة ولكن ليس دائما . وسنقوم بالتعرف عليها فيما بعد .

فى الفيزيا" تدخل الغرابة — فى العرض الرائع الشهير لفيزيا" الجسيمات الاولية المنشور من قبل غيلمان وروزينباوم فى عام ١٩٥٧ اخذت كلمات فرنسيس بيكون كمقدمة : «لا يوجد جمال كامل لم يكن يحتوى فى داخله على قسط من الغرابة» . وحين نكون قريبين من مبادىء الفيزياء المعاصرة لا يجوز عدم الاحساس بالكمال الذوقى لهذه الكلمات . (تعود الى احد النظريين المشهورين المعاصرين ديراك كلمات لا تخلوا من العمق اطلاقا : «النظرية الفيزيائية يجب ان تكون لائقة رياضيا» . وهذه النظرية متصفة بقسط من الغرابة . حتى ان كلمة غرابة دخلت الى اللفظ العلمى .

ان الامر بالطبع ليس فقط فى مرح وبهجة حياة النظريين الشباب آنئذ والذين دفعوها للتجول . وفى الواقع اعطت الطبيعة درسا لبعض الفيزيائين الذين هدأوا ، مقدمة لهم المفاجأة تلو الاخرى بسخا" رائع .



وابتدا" من عام ١٩٤٧ ظهرت فى جدول الجسيمات الاولية مجموعة بارزة من الهيبرونات والميزونات — K . ظهرت بشكل غير متوقع . وهى لم تنتج من اية نظرية بل كانت «جسيمات غريبة» هكذا اسموها . وهى التى

سارعت في تحقيق تسميتها . لقد كان ظهورها بشكل غير طبيعي. وهذه الجسيمات لا تولد لوحدها ابدا — بل تكون ازواجا او بكميات اكبر . وكأنه لا شيء غريب في ذلك . اننا الآن نعرف الامثلة غير القليلة عن ولادة الازواج : فالالكترون والبوزيترون تولد ازواجا عند اصطدام الكم — γ مع النواة . وهناك امثلة عدة عن الولادات الزوجية . وتكون ازواج الجسيمات الغريبة من طبيعة اخرى على الاطلاق . فهنا لا توجد مجموعة جسيم — مضاد جسيم . وللمثال ، اليكم مخطط التفاعل :

$$\pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$$

الميزون — π السالب حين يصطدم بالبروتون ينتج الهيبرون — Σ السالب والميزون — K الموجب وبعدها يتحلل — Σ^- الى الميزون — π والنترون الذي لا يبقى له اثرا . وفي كل الاحوال فان K^+ و Σ^- لا يرتبطان بعلاقة : جسيم — مضاد جسيم . والوضع مماثل في التفاعلات الاخرى لتشكلات الجسيمات الغريبة . لماذا ؟ كان يجب البحث عن جواب هذا السؤال خارج حدود النظرية الموجودة في ذلك الحين .

ولكن التحللات الجديدة للجسيمات كانت اكثر غرابة . لننظر مرة اخرى الى التفاعل المكتوب منذ قليل . يشترك فيه البروتون والميزون — π وهما جسيمان يتبادلان الفعل بشدة ملموسة . بالتالي والجسيمان الآخران — الهيبرون — Σ والميزون — K — يجب ايضا تنسيبهما الى مرتبة المشتركين في الافعال المتبادلة القوية .

وفي الحقيقة فان هذا ما تثبته سلسلة كاملة من النتائج سواء النتائج النظرية ام نتائج التجارب المباشرة . مثلا : كان من الممكن

للهيبرونات ان تحل محل النوكلونات في النواة لو لم تكن غير مستقرة (كنا قد تحدثنا عن هذا عند الكلام عن النويات الهيبرونية) .

وهكذا فان الهيبرونات (سندعوها كذلك للاختصار) — هي جسيمات تتبادل الفعل بشدة . وهذا ينطبق تماما على ولادة الهيبرونات بنشاط كبير . واذا كان الامر هكذا فانها يجب ان تقذف بالميزونات π — بقوة شديدة متحولة بذلك الى نوكلونات ، ولنقل حسب المخطط

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

وبالمناسبة هذا ما يلاحظ في الواقع ولكن ثمة امر غريب . فعملية كهذه تكبح جذريا. وبما ان الهيبرونات — جسيمات تتبادل الفعل بقوة بدا انه « يتوجب » عليها جميعا ان تتحلل فور ظهورها . ويتطلب هذا من الوقت ما يتطلبه الشعاع الضوئي لقطع مسافة تساوي ابعاد جسيم واحد . (ولكن يكفي للضوء جزء من اعشار الثانية كي يدور حول الكرة الارضية وفوق خط الاستواء) . وماذا تقول التجربة ؟ تقول التجربة : ان الهيبرونات تعيش مدة أطول بعشرات المليارات مما يقدر للجسيمات ذات الفعل المتبادل القوي . أعجيب هذا ؟ بدون شك . ولكن الجسيمات بذاتها « غريبة » .

ولكن ما قيل لا يزيل كل الغرائب . فيما لو حسبت الشحنة المسؤولة عن تحلل الهيبرونات فاننا سنحصل على شيء غريب (مع انه قد لا يكون بتلك الغرابة بعد كل ما قيل) : فبدلا من ثابت الفعل المتبادل القوي ينتج (وبدقة مقنعة للغاية) — ماذا تظنون ؟ ثابت الافعال المتبادلة الضعيفة ! ننشر من جديد عرض غيل — مان وروزينباوم : ان الجسيمات الغريبة بعد ولادتها مباشرة تتحرك مبتعدة الواحدة عن الاخرى ، تبتعد عن هلاكها بواسطة الافعال المتبادلة القوية وتعيش الى حين ان تقضي عليها عملية اقل احتمالا .

« سر تعمير » الجسيمات الغريبة ــ وهكذا بدون اى شك توجد اسباب ما تعرقل التحلل « القوى » للجسيمات الغريبة . فما هى هذه الاسباب؟ ان الخبرة الطويلة علمت الفيزيائيين ان وراء كل « ممنوع » يجب البحث عن قوانين حفظ الطاقة . ولا يمكن ان تحدث التحولات التى تخالف فيها قوانين حفظ الشحنة . ان قانون حفظ الطاقة (يمنع) العمليات التى يكون فيها مجموع كتلة المواد الناتجة اكبر من كتلة الجسيم المتحلل . وقوانين حفظ الطاقة والدفع تبين انه عند دمج زوج من الالكترون والبوزيترون يولد على الاقل كمان ــ γ .

الا تعنى « فرملة » التحلل القوى للهيبرونات ان قانونا ما للحفظ قد ظهر ، ولم يلاحظه الفيزيائيون بعد . وكانت قد اقترحت فرضية كهذه من قبل غيل ــ مان . واسموا المقدار الجديد الذى يبقى اثناء الافعال المتبادلة القوية والمغنطيسية الكهربائية « بدرجة الفردية » .

اعطيت الجسيمات « العادية » اى البروتون، النترون (مضادات جسيماتها) وكذلك الميزونات ــ π المحايدة والمشحونة ، الدرجة الفردية الصفرية . ومن اجل بقية الجسيمات ذات الفعل المتبادل القوى توزعت درجة الفردية كالتالى :

درجة الفردية التى تساوى ناقص واحد : $\Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0, K^-, \tilde{K}^0$

درجة الفردية المساوية لزائد واحد : $\Lambda^0, \tilde{\Sigma}^+, \tilde{\Sigma}^-, \tilde{\Sigma}^0, K^+, K^0$

(اى لمضادات الجسيمات الموافقة) ؛

درجة الفردية المساوية لناقص اثنين : Ξ^-, Ξ^0

درجة الفردية المساوية لزائد اثنين : Ξ^-, Ξ^0

اذا كانت المعادلة بشكل لا تتغير درجة الفردية معها فانالعملية تجرى على الموجة القوية . وهكذا فى مثالنا المذكور

$$p + \pi^- \rightarrow \Sigma^- + K^+$$

ان الجسيمات البدائية تملك درجة الفردية المساوية للصفر ؛ Σ^- تملك درجة فردية (— ١) ، و K^+ تملك درجة فردية (+ ١) . وبالتالى ان درجة الفردية الكلية فى « القسم الايمن » ايضا تساوى الصفر . الموجة « القوية » مباحة .

والتحلل $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ من جهة اخرى يجرى بتغير ظاهر للدرجة الفردية بمقدار واحد (من الـ — ١ ينتج الصفر) . وطبقا لقانون الحفظ الجديد فان مثل هذا التّحول لايمكن ان يجرى حسب قوانين الافعال المتبادلة القوية . فالولادة الزوجية تعين الحفاظ على درجة الفردية . مثل القواعد الموجودة فى الاتحاد السوفييتى الخاصة بتسلق الجبال التى تمنع الصعود الاحادى (يمكن ان يتوجه الى القمة على الاقل اثنان) وقوانين حفظ درجة الفردية تخرج الى الحياة الهيبرونات والميزونات — K ازواجا فقط . ولولا وجود هذا القانون لماتت الجسيمات مباشرة بعد ولادتها وهذا ما لا يحصل دائما مع متسلقى الجبال الاحاديين . ولكى نقدم ايضاحا اكبر ما تكلمنا عنه هنا ، تصوروا ان عملية ما تجرى على الموجة « القوية » (اى دون تغير درجة الفردية) تستمر لثانية واحدة . عندها لتطلّب التحول المصحوب بتغير درجة الفردية درجة واحدة ، عشرات الآلاف من السنين ! اما الحالة التى تتغير فيها درجة الفردية بدرجتين فستحتاج الى فترات كبيرة لا يمكن تصورها ، والتى تفوق عمر الارض نفسها .

أية أفعال متبادلة تسمى ضعيفة — اذا سئلنا الآن : « اية افعال متبادلة تسمى بالضعيفة » على الارجح سوف لا نستطيع الاجابة مباشرة ويقينا . ولكن فى هذا خطأنا نحن وليس خطأكم . قصتنا عن الافعال المتبادلة الضعيفة لا يمكن تسميتها بأى شكل بانها متتابعة .

وبالمناسبة نحن لم نلجأ الى التسلسل . فى البداية اردنا اعطاء صورة ولو جزئية ، عن التيار العشوائى نوعا ما للمبادىء والحوادث ، والذى كان له مكانه فى الواقع عند دراسة الافعال المتبادلة الضعيفة .

وحان الوقت الآن لترتيب تلك المعلومات عن الافعال المتبادلة الضعيفة التى بحوزة العلماء . وبالمناسبة جرى فقط تنظيم كهذا فى الاعوام الاخيرة . ولكن بغض النظر عن هذا ، فان نظرية الافعال المتبادلة الضعيفة لم تتوصل الى تلك الدرجة من الكمال كالديناميكا الكهربائية الكمية . ومهما كانت عظيمة هذه النجاحات ، يوجد مع ذلك هنا الكثير من الالغاز بدون شك . وليس من المستبعد اننا لا نعلم الشىء الرئيسى . حتى اننا لا نعلم مم يجب ان يتألف هذا الشىء الرئيسى .

ماذا نعلم ، اذا تكلمنا قدر الامكان بالتسلسل ؟

اذا لم تكن الحياة عموما ، وهذا الكتاب بشكل خاص ، قد قضت على خاصية التعجب الغريبة ، فان اول حقيقة يمكن ان تدهش بالفعل .

تصوروا بالكم : رأيتم وردة غريبة مغطاة بين الحشائش الكثيفة الطويلة . وانتم لم تروا ابدا مثلها وعلى ثقة انها وحيدة ، كالوردة الحمراء اليانعة القصصية . وفجأة يقال لكم ان وردة وورودا كهذه فى كل مكان غير ان الحشائش الطويلة الكثيفة تغطيها . ولا حاجة للجوء الى السحر (الشرير) لاقتطاف الوردة الفاتحة الاحمرار .

ان الافعال المتبادلة الضعيفة تبدو غريبة : النترينوات العجيبة ، تحلل الجسيمات الفردية ، هذه هى آثار نشاطها . ولكن الامر فى الواقع ليس كذلك . ان الافعال المتبادلة الضعيفة ليست غريبة على الاطلاق . ويعتبر العلماء الآن ان هذه الافعال المتبادلة تميز كل الجسيمات الاولية .

ان كل ما فى الامر هو ان اثناء العمليات التى تجرى من جراء تأثير القوى المغنطيسية الكهربائية او النووية ، لا تكشف الافعال المتبادلة نفسها بشكل ملحوظ ، وتبدو فى الظل ، بسبب ضعفها * . ويمكن تجاوزها ببساطة . اذ اننا نتجاوز قوى الجاذبية في كل ما يتعلق بالجسيمات الاولية . وفى تلك الحالة فقط ، عندما لا تستطيع القوى المغنطيسية الكهربائية والنووية فعل شيء ، تظهر الافعال المتبادلة الضعيفة فى المرتبة الاولى . وفى هذه الحالات فقط يمكن لكائن غليظ كبير كالانسان ملاحظة تأثيرها . وفى الواقع من الجائز ان تتنازل لقوى الجاذبية فقط .

وفى بداية هذا الفصل قيل الكثير عن النترينوات . وسبب هذا (اذا لم تلاحظوه بعد) ان النترينو هو الجسيم الوحيد الذى لا يتأثر ولا يكترث باية افعال متبادلة عدا الضعيفة ، ان لم يكن الحديث عن قوى جاذبية اكثر ضعفا . فكل العمليات التى تظهر (او تختفى فيها النترينوات مشروطة بالافعال المتبادلة الضعيفة . لذا فدراسة العمليات التى تحدث للنترينوات تلقى الضوء بالشكل الافضل على طبيعة القوى الضعيفة .

وثمة مجموعة عمليات واحدة فقط تبدو فيها الافعال المتبادلة الضعيفة حاسمة . هى عمليات تحول الجسيمات لم تغير درجة الفردية . ان حفظ درجة الفردية فى الافعال المتبادلة القوية المغنطيسية الكهربائية تفتح المجال للقوى الضعيفة ولاسباب خفية تحفظ درجة الفردية تحت تأثيرها .

وهكذا تنتمى عادة الى الافعال المتبادلة الضعيفة كل العمليات

---

* المقصود الطاقات كما يفهمها الخبراء المعاصرون على الاقل .

التى تشترك فيها النترينوات وكل الافعال المتبادلة التى تغير العدد الكمى – درجة الفردية .

عمومية الافعال المتبادلة الضعيفة – ان الشحنة الكهربائية تحدد سرعة تحول الجسيم الى نفس الجسيم زائد فوتون * ؛ ثابت الافعال المتبادلة القوية – تحول الباريونات من واحد الى آخر مع انطلاق ميزونات . اما ثابت الافعال المتبادلة الضعيفة فهو مسؤول عن مختلف تحولات الجسيمات باشتراك النترينو وبدونه مع الليبتونات ومع الباريونات . فمن اين تؤخذ العمومية هذه ؟

اذا امعنا التفكير ، فان محاولة شرح مجموعة التحولات المختلفة للجسيمات الاولية بتعليل واحد لا تكفى ، وهى كمحاولة تفسير انقراض الحرادين القديمة وظهور الحوت وغيره على سطح الكرة الارضية بتعليل واحد .

ولكن الامر ليس هكذا . كانت قد طرحت فرضية لتفسير طابع عمومية الافعال المتبادلة الضعيفة . وحسب هذه الفرضية ، تشترك دائما فى الافعال المتبادلة الضعيفة اربعة جسيمات تملك تحركا ذاتيا $\frac{h}{2}$. اربعة فيرميونات كما تسمى غالبا الجسيمات ذات التحرك الذاتى المساوى لنصف ثابت بلانك . وتكمن عمومية الافعال المتبادلة الضعيفة فى ان الفعل المتبادل لزوجين من الفيرميونات مبنى على اساس واحد ويتصف بثابت ارتباط واحد – ازواج الفيرميونات المتبادلة للافعال يمكن ان تكون مختلفة تماما . يتطلب فقط ان يحتوى كل زوج على جسيم مشحون واحد وجسيم حيادى واحد . وتصطف الهيبرونات بشكل ازواج : الكترون – نترينو

---

* ما هنا التحللات الميزونية – π^0 والهيبرونية – Σ .

الكترونى ، ميزون — μ نترينو ميرونى والباريونات بازواجها . ولكن مهما كانت هذه الازواج ، فالافعال المتبادلة الضعيفة تبقى هى نفسها .

وفى عالم الكائنات الحية يمكن ان يقابل هذا لوحة خيالية جدا . وقانون تأليف زوج عائلى من عائلة ايفانوف الى نفس الزوج ولكن بحالة جديدة ، يمكن ان يكون مماثلا لقانون تحول الفيل والافعى الخبيثة الى كنغر وسلحفاة . وبالطبع سيحتج القارىء هنا . « التشبيه بين تحولات الجسيمات الاولية والتغيرات المفاجئة للفيل الى كنغر ، مبالغ فيه بشكل زائد ، ولكن اين يكمن شرح عمومية الافعال المتبادلة الضعيفة اذا اخذت بالاعتبار امكانية التوازيات المماثلة ؟ ان الحديث يجرى فى الواقع عن كيفية ربط الحوادث غير المعتادة فى حدود النظرية وليس فى كيفية شرحها » .

ويمكن الاجابة على هذا كالتالى : وما العمل ان الامر موضوع بهذا الشكل بالذات .. وبالدرجة الاولى تكمن مهمة الفيزياثيين فى فهم ذلك القاسم المشترك العام الذى يختفى وراء هاوية الحوادث المبعثرة .

هل نلجأ الى اكتشاف او تخمين القانون العام . ولماذا يؤثر هذا القانون العام فى الطبيعة ؟ وهنا مرة اخرى كما فى الحالات السابقة لا نستطيع قول شيء . على الاقل فى الوقت الحالى .

يجب الا نظن ان استنتاج الصفة الرباعية الفيرميونية للافعال المتبادلة كان سهلا . لا أبدا . ولنقل ان هذا واضح فى حالة تحلل النترون والميزون — μ :

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_{e}.$$
$$\mu^{-} \rightarrow e^{-} + \bar{\nu}_{e} + \nu_{\mu}$$

هنا نجد الفيرمونات الاربعة المتبادلة للفعل ، حاضرة .

وانظروا الآن الى تحلل الميزون – π والهيبرون – Λ^0 والذى تسببه الافعال المتبادلة الضعيفة :

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu.$$
$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

يشترك هنا مباشرة اثنان من الفيرمونات فقط . ومع ذلك فالتفاعلات هذه تسببها الافعال المتبادلة الضعيفة الرباعية الفيرميونية ، ولكن كل شيء يحدث بتعقيد اكبر .

وهذه التفاعلات تجرى على مرحلتين ، وفى احدى المرحلتين يظهر زوج النوكلونات ومضادات النوكلونات كحالة انتقالية وهى فيما بعد تندمج . والشيء الهام هنا ، هو ان هذه الحالة الانتقالية تدوم فترة قصيرة ، بحيث ان عدم التحديد الطاقى الكمى ، يسمح بجريان التفاعل . ومن وجهة النظر الكلاسيكية يبدو التفاعل مستحيلا ، حيث ان جريانه لا يتفق وقوانين حفظ الطاقة بالمفهوم الكلاسيكى .

يجب النظر الى تفاعل تحلل الميزون – π^+ ، (وهذا يخص ايضا تحلل الميزون – π^-) . فى المرحلة الاولى الميزون – π^+ يتحول الى زوج بروتون ومضاد النترينو .من جراء التفاعل المتبادل القوى . بعدها يتحول هذا الزوج من جراء الافعال المتبادلة الضعيفة الرباعية الفيرميونية الى ميزون – μ ونترينو ميوونى .

$$\pi^+ \rightarrow p + \bar{n} \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

فعل متبادل   فعل متبادل

ضعيف   قوى

ونحن نستطيع مشاهدة الحالتين الاولى والاخيرة فقط . لذا تبدو الافعال المتبادلة الرباعية الفيرميونية مقنّعة . واثناء تحلل الجسيم – Λ^0

يتحول في البداية الى بروتون وزوج من نترون ومضاد بروتون من جراء الافعال المتبادلة الضعيفة . اثناء هذا تتغير درجة الفردية بمقدار درجة واحدة

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \bar{p} + n$$

ويتطور بعدها زوج النترون ومضاد البروتون متحولا الى ميزون — π^- :

$$\bar{p} + n \rightarrow \pi^-$$

اما البروتون الناتج في المرحلة الاولى من التفاعل فيتابع بقاءه ويبدو التفاعل بكامله بالشكل :

$$\Lambda^0 \longrightarrow p + \underbrace{\bar{p} + n} \rightarrow p + \underbrace{\pi^-}$$

فعل متبادل ضعيف   فعل متبادل قوى

ان امر التفاعلات الاخرى هكذا تماما . ولكن الكثير من المشاكل ينتظر الحل .

فرضية واينبورغ — لم تمض سنوات كثيرة على كتابة الجملة الاخيرة التي قرأتموها منذ قليل . وقررنا نحن ابقائها حيث ان تلك التبدلات التي طرأت منذ زمن غير بعيد بدت للقارىء اكثر تميّزا .

ان الامر ليس فقط في تجميع الحقائق التجريبية ولا في تعميق واتساع جبهة البحوث . لقد حدث ما هو اهم . ظهر مبدأ فيزيائي جديد حصل على (حق الاستيطان) بشكل اساسي . ان فكرة القرابة العميقة بين الافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية اقترحها لاول مرة في جامعة هارفرد البروفسور واينبورغ . وبالطبع فان المبادىء الفيزيائية لاتنشأ في اماكن فارغة . وقد سبقت

فرضية وايثبورغ الدراسات النظرية العديدة ، وخاصة ما يتعلق بمسألة البوزون الانتقالى .

البوزون الانتقالى — ظهرت هذه المسألة فى نظرية الافعال المتبادلة منذ زمن بعيد نسبيا . وكما لاحظ القارىء هناك فرق ملحوظ بين الافعال المتبادلة الضعيفة وبين بقية الافعال المتبادلة كلها . يتم الفعل المغنطيسى الكهربائى بواسطة المجال المغنطيسى الكهربائى . حيث ان كمات هذا المجال — الفوتونات — هي نواقل الافعال المتبادلة بين الجسيمات المشحونة كهربائيا .

ونواقل الافعال المتبادلة النووية هي الميزونات — π بشكل اساسي . اما عن نواقل الافعال المتبادلة الضعيفة فلم تكتب اية كلمة .

وبالفعل كان يعتقد لزمن طويل ان الفيرميونات الاربعة تتبادل الفعل فى نقطة واحدة وبدون اية وسائط . فى مناقشة كهذه لا يمكن وجود اى حديث عن مجال الافعال المتبادلة الضعيفة وهل هى موجودة فى الواقع ؟ وقد يسمح تحليل ادق باثبات وجود مجال للافعال المتبادلة الضعيفة وانه بالمقابل يجب ان توجد جسيمات ما ناقلة لهذه الافعال المتبادلة . ان فرضية كهذه ظهرت منذ زمن بعيد ، وهى لا تقع فى تعارض ظاهر مع الصورة الفيزيائية للافعال المتبادلة النقطية الرباعية الفيرميونية . وبما ان « نصف قطر الافعال المتبادلة » ، كما نعلم يصغر كلما كبرت كتلة الكمات الناقلة للافعال المتبادلة ، كلما صغر اختلاف « الافعال المتبادلة اللانقطية » عن « النقطية » كلما ثقل كم مجال الافعال المتبادلة . حتى ان التبادل بالميزونات — π يقود الى افعال متبادلة تلاحظ على مسافات صغيرة جدا ، حوالى ١٠ $^{-١٣}$ سم فقط . واذا اعطينا للكمات — نواقل الافعال المتبادلة الضعيفة كتلة اكبر (يجب ان تفوق الكتلة الميزونية — π باكثر

من مرتين) ستتوصل الى الافعال المتبادلة التي يصعب جدا في الواقع تميزها عن النقطة — الاختلاف يظهر على مسافات متناهية الصغر ، حوالى ١٠⁻¹⁴ سم .

وحسب تعبير الاستاذ ل . أوكون فان الجسيم الانتقالى اثناء ذلك يبدو كنابض غير مرن يربط زوجا من الجسيمات ببعضها . واذا كانت الطاقة التي تنتقل الى النابض اثناء الاصطدامات قليلة بالمقارنة مع مرونتها فان النابض يبدو كجسم صلب — يوافق هذا الفعل المتبادل النقطى ، حين يكون نقل الافعال المتبادلة عن طريق الكمات عمليا غير ظاهر . واذا كانت الطاقة هائلة فان النابض يتشوه — وهذا يمكن رؤيته تجريبيا .

ان فرضية الكمات التي يكون التبادل فيها مسؤولا عن الافعال المتبادلة الضعيفة تطورت في عدة اتجاهات : كان يجب فهم الخصائص التي يجب ان تمتاز بها هذه الكمات ، اية تجارب يمكن ويجب وصفها وتفسيرها وفي النهاية ، كيف ستنعكس هذه الفرضية على البنية الرياضية المنطقية للنظرية .

على السؤال الاول أجاب الجميع بالاجماع : يجب دراسة جسم كبير هائل الكتلة ذو لف ذاتي مساو للواحد (في وحدات $\hbar$) . وتسمى جسيمات كهذه بالبازونات الشعاعية الثقيلة . عرض كهذا بالذات — وهو فقط — كان يمكن ان يحقق متطلبات التجربة التي كانت موجودة آنذاك . اما ما يتعلق بالشحنة الكهربائية لهذا الجسيم فكانت تؤخذ موجبة وكذلك سالبة ، ولكن غير مساوية للصفر — وكما ظهر فيما بعد بدون اسس كافية .

صعوبات النظرية — يجب ان يكتفي الفيزيائيون النظريون بالحلول المقربة لتلك المعادلات التي يتوجب عليها شرح الاشيا.

المدروسة . وتستعمل بشكل خاص بكثرة طريقة التقريبات المتتالية عندما لا تحسب الافعال المتبادلة اطلاقا « التقريب الصفرى » و « فى التقريب الاول » يدرس حدث فعل متبادل مكرر لمرة واحدة، « وفى الثانى » مكرر لمرتين الى آخره .

وهكذا فان الوضع فى نظرية الافعال المتبادلة غريب جدا . « المرتبة الاولى » او بشكل آخر التقريب الاول يوضح بشكل جيد كثير من الحوادث التجريبية (وان كان بشكل قابل للانتقال) وبدا ان التقريب من المرتبة الثانية « وما فوق » سيقودنا الى بعض التصحيحات الطفيفة حيث ان الافعال تسمي بالضعيفة ، لهذا وان « ثابت الافعال المتبادلة » صغير نسبيا اى ان عمليات الفعل المتبادل تحدث بشكل نادر جدا .

ان الحسابات المباشرة فى الواقع لا توصل الى نتيجة كهذه : يتبين ان مساهمة المراتب الثانية وما فوق لانهائية الكبر .

ان ظهور الفوارق فى النظرية ــ هكذا تسمى المقادير اللانهائية الكبيرة التى تظهر فى النظرية اثناء حسابات اية مقادير فيزيائية ــ يدل دائما على الحالة غير الموفقة فى هذه النظرية ، على انه توجد مشكلة ما غير محلولة بعد . مشكلة الفوارق كما قيل سابقا ، صارت تظهر فى علم الديناميكا الكهربائية الكمية . ولكن هنا يمكن بمساعدة ما يسمى (بعملية اعادة التغيير) التوصل الى ان تعطى النظرية قيما منتهية معقولة لكل المقادير المتتابعة . الا ان النظريات القابلة لاجراء عمليات كهذه ليست كلها قابلة لتغيير الارقام .

ان مضمون الامر هو انه اذا كانت تظهر قيم ، كبيرة الى ما لانهاية ، لعدد معين من المقادير الفيزيائية (مثلا لشحنات الجسيمات وكتلها فقط) ، فانه يمكن التخلى عن التعريف النظرى لهذه المقادير

يمكن استعمال قيمها التجريبية . وبهذا فانه تنتج لجميع المقادير المتبقية قيم منتهية ، مما يجعل النظرية قادرة على العمل . واسوأ بكثير اذا كان عدد اشكال التمايزات بذاته يصبح كبيرا الى ما لانهاية ، كما يحدث هذا فى حالة نظرية الافعال المتبادلة الضعيفة . نسمى نظرية كهذه بالغير قابلة للتعبير اى انها متناقضة ذاتيا عمليا . ان فرضية البوزون المشحون الشعاعى الثقيل لاتصلح الوضع ، وتبقى النظرية غير قابلة للتعبير ، حتى ان بعض المصاعب تشتد هنا .

والبحث عن مخرج من الوضع العسير قاد فى الحقيقة الى ولادة اتجاه جديد غير متوقع اطلاقا . وفى وقت واحد تقريبا اقترح س . وابنبروغ (فى امريكا) او . سلام (فى تريست) الفرضية الجريئة المذكورة حول وحدة الافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية .

ميزات الوحدة — كان بالامكان ملاحظة بعض ميزات هذه الوحدة مسبقا . وأول ما يترامى الى الانظار ان الكمات الناقلة والافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية تملك تحركا او لفا ذاتيا يساوى ($\hbar$) . والفوتونات التى يقود تبادلها الى الافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية هى وحدها التى لا تملك كتلة سكونية ، عندها يجب ان تكون لنواقل الافعال المتبادلة الضعيفة باعتبارها ميزونات موجهة (يرمز لها عادة بالبوزونات — W) كتلة كبيرة للغاية .

لكن الوحدة التى يدور الحديث حولها لاتنهار ابدا بشعاعية أو اتجاه الجسيمات الانتقالية وحدها . كذلك ثمة فرضية اخرى تقول لا حاجة لاخذ « شحنات » مختلفة للافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية . وانما شحنة — واحدة ، شحنة عادية اولية (او من الاسهل اخذ ما يسمى بثابت التشكيل الدقيق $\alpha = e^2/\hbar c$ وليس e) .

والانطباع الاول هو ان هذه الفرضية تقع فى تناقض ظاهر مع تلك الحقيقة البديهية التى تقول ان الافعال المتبادلة الضعيفة تحقق تسميتها لانها اضعف بكثير من المغنطيسية الكهربائية . ولكن هذا التناقض يزول من اول تحليل دقيق . لقد تبين ان الكتلة السكونية للكمات الانتقالية تصبح صاحبة الدور الحاسم . ان المسافة التى يمكن ان يقطعها كمٌ كهذا من منبعه هى h/mc . فى الفوتونات $m=0$ (الكتلة السكونية عندها كما ذكرنا اعلاه غير موجودة) لذا فانها يمكن ان تبتعد طائرة بعيدا جدا او بعبارة اخرى ، يكون قطر الافعال المتبادلة المغنطيسية لانهائى الكبر .

وثمة امر آخر — البوزونات — W الثقيلة ، حتى واذا كانت تنطلق من منبع بنفس الكثرة كالفوتونات (وهذا ما تتضمنه الفرضية التى نناقشها) فان تبيان توافق « المقدار الحقيقى » للافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية يمكن ان يظهر على المسافات الصغيرة جدا فقط حيث ان مجال اقامتها ضيق للغاية . ولكن مسافات صغيرة جدا كهذه — نادرة جدا . واكثر احتمالا ان المسافة بين الجسيمات ستبلوا اكبر من « نصف قطر الافعال المتبادلة » h/M_Wc . وهذا يؤدى الى اضعاف الفعل المتبادل . وينعكس هذا شكليا فى النظرية ، بان الدور الفعال لثابت للافعال المتبادلة لا يلعبه α بل المقدار النسبى $\frac{\alpha}{M_W^2}$ — وهذا المقدار بالذات « المشتق » وليس « الاساسى » هو الذى يحل محل الثابت العام للافعال المتبادلة الضعيفة حسب المسلك الجديد .

اعادة التعبير — ان نظرية واينبورغ تملك خصائص مثيرة . وتتلخص فى ان هذه النظرية متغيرة المعايير . ان عدد النظريات متغيرة المعايير اى النظريات التى تسمح باعادة تحديد الثوابت

الفيزيائية وابعاد كل القيم اللانهائية التى لا جدوى منها ــ قليل جدا .
لذا فان اى عرض جديد لنظرية كهذه يجلب اهتماما كبيرا . وتهمنا على الاخص تلك الحقيقة ، التى مفادها ان المحاولة للدراسة موحدة لشكلين من الافعال المتبادلة تقود الى نظرية قابلية اعادة المعايير ــ وبدون ذلك لما استطاعت النظرية الحصول على ثقة كبيرة .

يتوصل الى قابلية اعادة المعايير عند واينبورغ بدراسة بوزونات محايدة (يرمز لها عادة Z) بالاضافة الى الفوتونات والبوزونات (W^+ و W^-) المشحونة الشعاعية . وحسب الانتقاء المفروض للكتل (البوزون Z يجب ان يكون اثقل بمرتين من W ، اما كتلة W فستكون اكبر بـ ٤٠ مرة تقريبا من البروتون) يحدث الفناء المتبادل لجزء من اللامتناهيات ، اما التفارقات المتبقية يمكن ابعادها فيما اذا طبقت طريقة خاصة لاعادة المعايير .

وعندما برهنت نظرية واينبورغ على قابلية اعادة المعايير ازداد الاهتمام بها كثيرا . ولكن هذا الاهتمام زاد بشكل اكبر عندما كشف المجربّون بعضا من الظواهر التى تنبأت بها هذه النظرية . وليس فقط المجلات الفيزيائية ، بل والمطبوعات العادية ايضا اخبرت القراء عن باكتشاف تيارات محايدة . فما هى هذه التيارات ؟

التيارات المحايدة ــ كما ذكرنا اعلاه فان المحاولات الاولى للدخول الى نظرية البوزون الانتقالى الشعاعى اعتمدت على افتراض : ان هذا البوزون يجب ان يحمل شحنة كهربائية . وحين يتم التبادل ببوزون كهذا بين جسمين متبادلى الفعل ، يتم التبادل بالشحنة ايضا . واذا افترض ان البوزون المحايد يمكن ان يكون ناقلا للافعال المتبادلة فسوف تظهر تنبوءات لنظرية مثيرة للانتباه ، والمهم فيها انها تخضع مباشرة للتحقيق التجريبى ، وسنعود لمناقشة هذه النظرية فيما بعد .

قد يبدو ان التبادل ببوزون محايد او التبادل ببوزونين W ـ متعاكسين بالشحنة الكهربائية فى آن واحد ، يجب ان يعطى نتائج متقاربة ، خاصة وان كتلة ـ Z اكبر بمرتين من كتلة ـ W . ولكن بسبب صغر ثابت الفعل المتبادل يبدو ان التبادل بزوج بوزونات بآن واحد ، اقل احتمالا من « انتقال » كم واحد. ولهذا السبب بالذات يجب تركيز الانتباه الى التبادل الاحادى الشكل فقط متجاوزين التصحيحات المختلفة الاشكال .

بعد هذا الشرح يصبح واضحا للعيان انه بادخالنا البوزون الحيادى فى البحوث نبعد الخطر عن الكثير من التفاعلات . وهكذا فان بوزونا كهذا يستطيع نقل الافعال المتبادلة بين النترينوات وجسيمات كالالكترون والبروتون ، والنترون . فلهذا يجب ان يشاهد تجريبيا اقتسام النترينو بين هذه الجسيمات . وقبل ادخال البوزون المحايد شمل المنع تفاعلا كهذا مثلا ،

$$\nu_\mu + p \rightarrow \nu_\mu + n + \pi^+$$

ويمكن فهمه هكذا : النترينوات الميوونية ـ ν_μ التى تطير قرب البروتون p تؤثر عليه بحيث يتحول البروتون الى نترون ، محررا الميزون ـ π^+ .

ولكن ما هذا الكمّ الذى يمكن ان يكون ناقلا للافعال ؟ من الواضح انه جسيم ما حيادى ـ اذ ان امتصاص واطلاق الجسيمات المشحونة من قبل النترينوات الميوونية غير ممكن .

وهكذا فالتفاعل المشار اليه هو احد امثلة التجربة التى يظهر فيها البوزون الحيادى الانتقالى . والمثال الآخر هو التفاعل

$$\nu_\mu + \mu^+ \rightarrow \nu_\mu + n + \pi^+$$

وكان بالامكان زيادة عدد الامثلة هذه .

وفى علم الديناميكا الكهربائية يكون المصدر الماص والمطلق للفوتون هو التيار . ومن الطبيعي ان اصطلاح « تيار » ينسب الى مصادر امتصاص واطلاق اية كمات انتقالية . وبما ان التيار لا يغير الشحنة اثناء التبادل بالكمات الحيادية (يمكن ان يكون متعلقا بحالة خاصة ، بحركة الجسيمات غير المشحونة) فقد سميت هذه التيارات بالحيادية . وقد تم الاكتشاف التجريبي للتيارات المحايدة لاول مرة فى عام ١٩٧٣ واستمر بعدها ظهور المعطيات الكاملة الجديدة التي حصل عليها الباحثون السوفييت وغيرهم . ان اكتشاف التيارات المحايدة هو احد اهم المنجزات التى توصلت اليها الفيزياء فى السنوات الاخيرة .

لماذا تكون كتل البوزونات مختلفة ؟ – بانشغالنا بالتيارات المحايدة ، غابت عن ذهننا لحظة هامة جدا ، وهى تتعلق بالنظرية الموحدة للافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية . اثبتنا انه يوجد شيء عام بين الفوتونات والبوزونات – W . وكل هذه الجسيمات (واذا شئتم المجالات) تملك عزم كمية حركة واحد ، اى لف ذاتي واحد . ولكن أليس هذا قليل للتحدث عن « قرابة » هذه الجنسيمات واعتبارها ممثلة لعائمة مشتركة ما ؟ لكن كتلتها مختلفة !

ومع ذلك فان اثبات قرابة كهذه ، ضرورى كي يكون بالامكان التحدث عن الطبيعة الموحدة للافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية والضعيفة بتعليل كاف .

وليسامحنا القارىء اذا انحرفنا قليلا .

لنتكلم عن « القرابة » . هل يحدث كثيرا ان يكون بمقدورنا ملاحظة صلة القرابة من الوهلة الاولى ؟ وهنا ليس من الضرورى اطلاقا قصد روابط القرابة عند الناس وهل يشبه الكلب (الصغير)

الذى يتسع له الكف ، الكلب الكبير الى هذا الحد ؟ او التوت الارضى يشبه البطيخ ؟ او الشرارة الضئيلة التى تصدر عندما نطفئ مفتاح الاطفاء تشبه البرق الذى يشق السماء ؟

لرؤية العلائم المشتركة لا يكفى النظر فقط - يجب الفهم - فهم اسباب العمومية ومصادر الاختلاف .

لقد لاحظ الفيزيائيون منذ زمن بعيد ان الجسيمات الاولية تنقسم بشكل سبيعى جدا الى مجموعات ، فى داخل كل منها ترى العمومية بوضوح . ولكى لا نستبق الحوادث سنكتفى بمثال واحد على الاقل . فالميزونات π^{+} ، π^{-} ، π^{0} متماثلة حتى بالتسمية . هذه ليست ثلاثة جسيمات مختلفة انما هى « اشكال شحنية » لجسيم واحد بذاته ، وبعبارة اخرى تتصرف الميزونات - π باشكال متماثلة على الاطلاق فيما يتعلق بكل الافعال المتبادلة « عدا المغنطيسية الكهربائية » .

ومثال الميزونات - π يبدو وكأنه يعرقل فقط محاولتنا لتقريب الفوتون - W والبوزونات - Z فى فصيلة واحدة .

ان الكتل عند كل الميزونات - π واحدة ، اما هنا فالكتل تتراوح بين الصفر للفوتون و ٨٠ كتلة بروتونية تقريبا عند البوزون - Z.

وبغض النظر عن هذه الحقيقة فانه يمكن ملاحظة التماثل القريب بينها . ان الاختلاف فى الكتلة ليس اوليا ومبدئيا - انما ينتج من جراء الخرق التلقائى للتناظر .

لعل الكثير من القراء لم يفهم شيئا عند قراءة العبارة الاخيرة ، ما هذا « الاختلاف الاولى » او بالعكس « عدم الاختلاف » وما هذا « التناظر » المبهم وكيف يجب فهم خرقه التلقائى ؟

ان اصطلاح « التناظر » الذى تحدثنا عنه سابقا يستخدم حاليا فى

الفيزياء كثيرا . يستخدم دائما عندما تراد الاشارة الى ان الاشياء تتمتع بصفات لا تتغير حين تتغير هذه او تلك الظروف . يمكن ان تكون ثمة تناظرات مقربة . وهكذا في المثال المذكور عن الميزونات — π يخرق التناظر بين هذه الجسيمات بالافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية .

ولكن يمكن الاشارة الى كثير من الحالات التي يخرق فيها التناظر تلقائيا . اى بالمشيئة الذاتية . وهكذا يكون الامر عندما يرافق التناظر حالة توازن غير مستقر .

تصوروا مثلا ان امامكم سائلا موحد الخواص ، اى ان كل الاتجاهات فيه متماثلة . ليبرّد هذا السائل الى درجة حرارة التبلور . بعد التبلور يمكن ان يخرق التوحد (يظهر تباين في الخواص) ولكن توجد في البلورات ، كقاعدة اتجاهات معينة ، ولذا فان خصائص فيزيائية كثيرة تتحدد بواسطة هذا التباين في الخواص . كيف يمكن مسبقا معرفة ماهية هذه الاتجاهات في تلك البلورة الناتجة عن السائل الموحد الخواص . وهذا سؤال صعب جدا ولفهمه يتوجب علينا كافة التقلبات التي لا ترجى منها اية فائدة اطلاقا . يهمنا فقط ان نفهم ان السائل المبرد او الزائد التبريد يبدو في حالة توازن غير مستقر. وما ان يظهر مركز التبلور (ومعناه بداية ولادة اتجاهات معينة) حتى تتحول المادة كاملة الى حالة جديدة اكثر توازنا ويحدث التبلور.

لنأتي بمثال آخر : نضع قلم الرصاص على رأسه الحاد . « من حيث المبدأ » حالة توازن كهذه ممكنة ولكن في الواقع لا يمكن تحقيقها . وتكفي اقل رجة لكي يسقط قلم الرصاص . ولكن في اى اتجاه افضل له ، ان يسقط الى اليسار ام الى اليمين ؟ بالطبع لافرق . فكل الاتجاهات بهذا المفهوم متناظرة تماما . ولكن اذا بدأ السقوط

مثلا نحو اليمين فان التناظر الموضوع في الشروط الابتدائية (اى في معادلة الحركة وفي الشروط الاولية) يخرق مباشرة .

ان سقوط قلم الرصاص الى اليمين او الى اليسار يمكن ان تكون له نتائج مختلفة ـ مثلا ، سيسقط في الغرفة ام نحو الشارع . وليست هناك اية مؤثرات خارجية مسؤولة عن هذه الاختلافات . فأمامنا هنا مثال الخرق التلقائي للتناظر .

طبعا كل هذا تشبيه فقط . ولكن التشبيه قريب لحد ما . في نظرية واينبورغ لا يوضع اختلاف كتل الجسيمات الناقلة للافعال المتبادلة ايضا في المعادلات التحريكية الابتدائية التي تتميز حسب هذا المفهوم بالتناظر . ولكن يظهر في هذه النظرية خرق تلقائي للتناظر ، وهذا الخرق يؤدى الى ظهور اختلاف ملحوظ بالكتلة عند مختلف البوزونات . وهذه الحالة بالذات هي التي تخفي الوحدة البدائية لهذه الجسيمات . وكذلك وحدة طبيعة الافعال المتبادلة الضعيفة والمغنطيسية الكهربائية .

ان النظرية التي تحدثنا عنها منذ قليل باختصار ظهرت منذ زمن غير بعيد . وليس كل شيء فيها مفهوم وكامل ابدا . لذا فانه سيتوجب تدقيق بعض الامور فيها . ولكن الفكرة الاساسية تبدو عميقة وممتعة بحيث نريد لا اراديا التصديق بانه ظهرت مرحلة جديدة في الفيزيا ـ المرحلة التي تتميز بقلة عدد اشكال الافعال المتبادلة الاساسية وباكتشاف الوحدة .

٣ ـ التريترنوات وتطور الكون

التريترنوات في الكون ـ نعود مرة اخرى الى السؤال عن ذلك الدور الذي تلعبه التريترنوات في الكون . لقد اعتدنا على هذا الجسيم

الذى يدخل كل المجالات بمشيئته . تجرى فى النجوم سلسلة عمليات يرافقها اطلاق النترينوات . وليس من الصعب فهم ما فى الامر هنا . ان المصدر الاساسى لطاقة النجوم ـ تفاعلات امتزاج النويات . وفى سلسلة العمليات التى تؤدى فى نهاية الامر الى تحول لربعة بروتونات الى جسيم ـ α (نواة الهليوم) ، ينتج بوزترونان ، يرافقهما بالتأكيد انطلاق نترينوين . والبوزترونات تمتزج بالالكترونات اما النترينوات فتفارق النجوم . على كل ١ سم٢ من سطح الارض يسقط من الشمس فقط اكثر من ١٠^١١ نترينو فى كل ثانية . اضافة الى ذلك تجرى فى الفضاء الكونى تحللات الجسيمات الاولية الميزونات والهيبرونات . وكل هذه التحللات مصحوبة بولادة نترينوات ومضادات النترينوات .

فما هو مصير النترينوات فيما بعد ؟ ان هذه الجسيمات التى تخترق كل شيء ستمر حتما عبر سمك النجم حتى وان كانت قد تولدت فى مكان ما فى الباطن ، وستطير آخذة معها نصيبها من الطاقة . وحيث ان كثافة الكون قليلة فان النترينوات تخترقه من طرف الى آخر دون ان تمتص . لذا فان النترينوات يجب ان تتراكم فى الكون .

علاوة على ذلك لاتنفى امكانية ان تكون النترينوات قد شكلت الجزء الاعظم من مادة الكون فى الطور الاول لاتساع الكون . وهذه النترينوات بقيت حتى الآن ، لكنها فقدت قسما عظيما من طاقتها .

ولو اننا نستطيع صنع « اجهزة كشف عن النترينوات » بدقة كدقة اجهزة المذياع ! لحصلنا على امكانية التسلل الى مراكز الكثير من النجوم . ان النترينوات نقلت من هناك وتنقل معها « مذكرات »

عن العمليات التى ترافق ولادتها . ان النترينوات يمكنها « اضاءة » مجرات كاملة اقوى بكثير مما تضيىء اشعة اكس صفحة من الورق .

ولقد بدأ العلماء بتصميم اجهزة تقريبا من عصر علم الفلك النترينوى . والنجاحات الاولى موجودة . لقد عثرت مجموعة من العلماء الامريكان على نترينوات ذات قدرة فائقة مولودة من قبل اشعة فضائية . (تذكروا انه كلما كانت الطاقة اكبر كان احتمال تفاعلها مع المادة اكبر) . ان كاشف النترينو المصمم من حيث المبدأ للعثور على النترينو كالجهاز الاول الذى جرى الحديث عنه مسبقا ، كان مركبا فى منجم على عمق ٦٠٠ م . ولم يكن باستطاعة اى جسيم فضائى سوى النترينو العبور عبر سماكة كهذه من الارض .

ولكن النترينوات ذات الطاقة القليلة ، والتى تولد داخل النجوم لم يعثر عليها بعد . بالطبع يمكن ، واقعيا ، ان يجرى الحديث عن العثور على النترينوات الشمسية .

وفى مناجم الملح فى دوكاتا الجنوبية (أمريكا) على عمق ١٤٩٠ م وضع جهاز لكشف النترينوات الشمسية مع استخدام التفاعل (فكرة الاستاذ ب . بانتيكورفو) :

$$\nu_e + Cl^{37} \rightarrow Ar^{37} + e^-$$

وتحت تأثير النترينو تتحول نواة الكلور الى نواة الارغون المشع . وهذه النواة تتعرض ، للاختطاف ـ K ، الذى مدة بقائه ٣٥ يوما . لقد احتوى الخزان الاسطوانى على ٣٨٠٠٠٠ لترا من C_2Cl_4 . وكان الارغون الناتج يستحصل بامرار ٢٠٠٠٠ لترا من الهليوم عبر الخزان وبعدها كان يجمد الارغون بتبريده حتى درجة ٧٧° مطلقة . واستمرت التجارب عدة سنوات غير انه لم يعثر على النترينو فى

النتيجة . لقد كانت الحسابات النظرية فى الوقت نفسه تبين ان تيار النترينوات القادمة من الشمس على درجة من الشدة بحيث يمكن التقاطها من قبل الجهاز المصنوع . ومن الممكن ان الحرارة اثناء الحسابات اعتبرت داخل الشمس كبيرة بشكل زائد (١٤,٩ × ١٠٦ مطلقة) . لقد عرفنا الكثير عن تطور الكون حتى دون ان تكون بحوزتنا « اجهزة التقاط نترينوية » وذلك بواسطة هذه الجسيمات .

ارتقاء النجوم – هناك رأى عام يقول بان النجوم تشكلت نتيجة التكاثف التجاذبى لغاز متخلخل وبشكل رئيسى الهيدروجين . ان قوى الجاذبية حين تضغط المادة تسبب تسخينها . وعندما تصل درجة الحرارة الى عدة عشرات الملايين تبدأ التفاعلات النووية الحرارية . ويكون احتراق النجوم فيما بعد على حسابها. ان النجوم « تتغذى » بالهيدروجين محولة اياه الى هليوم يصاحبه اصدار طاقات هائلة . الا ان احتياطى الطاقة يكون فى اى نجم محدودا . فماذا يحصل له بعد احتراق الهيدروجين ؟

فى الوضعية المستقرة عندما يكون احتياطى الطاقة كبيرا ، تكون النجوم فى حالة توازن . حيث ان الضغط التجاذبى الذى يحرض على تفتيت النجم ، يساوى من قبل الضغط الغازى للجسيمات ، التى توجد فى النجم ، والضغط الضوئى * .

وبسبب احتراق الهيدروجين فى المناطق المركزية يبدأ النجم بالتقلص . المهم ، ان درجة حرارة النجم ستزداد اثناء ذلك من جراء تناقص طاقة الجاذبية التى يسببه الانضغاط . وعند اصطدام ثلاث نويات من الهليوم بدرجة حرارة مئات الملايين تتشكل نويات الكربون

---

* بوجود درجة حرارة عالية للنجم تكون مادته فى حالة غاز متأين (بلازما) .

فى النجوم الثقيلة بالشكل الكافى وهذه النويات المتشكلة عند اصطدامها من جديد مع نويات الهليوم تعطى الاوكسجين والنيون والخ .

ان عمليات كهذه تنتهى عند نويات الحديد ، حيث ان التفاعلات التى تسبق ذلك تؤدى الى انطلاق الطاقة ، اما عند تشكل نويات اثقل من نويات الحديد فان الطاقة تمتص . وبالنسبة للنجوم ذات الكتلة الصغيرة فان العملية تنتهى عند نويات اخف ، عند نويات المنغنيز مثلا .

وفى النتيجة اذا كانت كتلة النجم اقل بـ ١,٢ من كتلة الشمس تظهر صورة مستقلة معروفة باسم القزم الابيض . ان اكثر الاقزام البيض شهرة هو التابع سيريوسا — نجم صغير تائه فى اشعة جاره الباطع جدا .

والاقزام البيض هى المرحلة النهائية الممكنة لتطور النجوم . واضاءة هذه النجوم قليلة ولكن كتلتها تساوى كتلة الشمس . وقطرها يساوى قطر الارض او اورانوس . وكثافة الاقزام البيض هائلة ١٠^٨ جم/سم^٣ ! وفى هذه الشروط تكون كل الذرات متأينة والنجم يتألف من نويات الكترونات مرتبة بكثافة .

ان الاقزام البيض — ليست الصورة الوحيدة الممكنة للنجم . بعد احتراق الطاقة النووية ، اذا كانت كتلة النجم اكبر بـ ١,٢ من كتلة الشمس فانه ابتداء من لحظة معينة وبانضغاط كبير للنجم تبدأ الالكترونات « بالتزاحم » نحو النويات ، وطبقا للتفاعل

$$e^{-}+p\rightarrow n+\nu$$

تتحول البروتونات الى نترونات . النترينوات تهجر النجم اما النترونات فتبقى . ان عملية الترنة هذه للنجم تعود الى الانضغاط الكارثى السريع .

وفى النتيجة ينشأ من النجم العادى نجم مستقر نترونى بقطر قدره عدة كيلومترات فقط مع قليل من شوائب الالكترونات والبروتونات . وتملك المادة عندها كثافة هائلة ١٠^١٤ جم/سم^٣ . وهذه هى الكثافة النووية .

ان تحلل النترونات فى النجم حسب المخطط

$$n \rightarrow p + e^- + \nu^-$$

يبدو غير ممكن بسبب مبدأ باولى . وهذا هو كل ما فى الامر .

ان مجال حركة الالكترونات محدد بأبعاد النجم . وحسب ميكانيكا الكم ، حين تكون الحركة محدودة لا يمكن ان تكون طاقة الالكترون غير محددة . بل يمكن ان تكون قيم محددة فقط كما فى الذرة . اذا تصورنا نجما بشكل صندوق مملوء بالالكترونات والجسيمات الاخرى ، بحيث انه كلما كبرت طاقة الجسيم كلما كان هذا الجسيم يترتب عاليا فوق قعر الصندوق ، فانه يجب ان يكون هذا الصندوق ذا مجموعة رفوف مستقلة . وتقابل الترتيب على رف معين ، طاقة معينة للجسيم . وهناك رفوف خاصة للالكترونات والبروتونات والخ .

وحسب مبدأ باولى لا توجد الكترونان فى حالة واحدة . لذا فانه لا يمكن ان يوجد على رف الكترونى واحد اكثر من الكترونين بلفّين ذاتيين متعاكسين فى الاتجاه . وفى درجة حرارة غير عالية جدا تكون كل الرفوف السفلى حتى رف معين مناظر للطاقة العظمى للالكترون E_m ، مملوءة . وكما يقال سيكون الغاز الالكترونى فى

حالة الولادة وسيملك اصغر ما يمكن من الطاقة حسب ميكانيكا الكم * .

وهكذا فالنترون لا يمكن ان يتحلل اذا كانت طاقة الالكترون الناتج عن التحلل اقل من الحد الاعظم . حيث ان كل رفوف الطاقة السفلى مشغولة . كل شيء يحدث وكأن النترون كان « يعلم » انه لا يستطيع ان يتحلل دون مخالفة قوانين ميكانيكا الكم . ولذا فانه يبقى مستقرا .

ان تقلص النجم كما في حالة الاقزام البيض يرافقه ازدياد في درجة الحرارة . ولكن لفترة معينة ترتفع درجة الحرارة بشكل يستطيع معه النجم بعث اشعة اكس .

ومن المحتمل جدا ان التقلص المفاجيء سيرفع درجة الحرارة حتى حدوث الانفجار . وعندها نشهد ظهور نجم متجلد عظيم .

وفي عامي ١٩٦٧ — ١٩٦٨ كانت قد اكتشفت النجوم النترونية تجريبيا . حيث اكتشفت مجموعة من الباحثين في جامعة كمبردج بمساعدة مرصد لاسلكي ، اشعاعات نبضية على موجة طولها ٣،٧ م . وتتألت النبضات المنتظمة بفواصل اكثر من الثانية بقليل . فكر العلماء في البداية : أليست هذه النبضات اشارة من حضارة اخرى ؟ وبسبب ذلك كان قد تأخر نشر المقالات لفترة معينة . ولكن بعدها اكتشفت مصادر جديدة تشع نبضات لاسلكية جديدة بفواصل اخرى . وهذه المصادر سميّت بـ « النوابض » .

كانت النوابض عبارة عن نجوم نترونية تدور بسرعة . فاذا كان نجم يشع موجات مغنطيسية كهربائية بشكل أشعة باتجاه معين

---

* ان الغاز الالكتروني عند الاقزام البيض يوجد في حالة التولد ايضا .

(واكثر الاحتمالات باتجاه المحور المغنطيسى للنجم (فان الاشعاع بأى اتجاه سينبض بذبذبة تساوى ذبذبة دورانه حول المحور .

وحتى عام ١٩٧٤ كان قد اكتشف اكثر من ١٣٠ نابضا . بحيث ان بعضها يبث ليس فقط نبضات موجات لاسلكية وانما الضوء المرئى ايضا واحيانا اشعة اكس .

وحاليا لا يوجد شك فى ان النوابض — نجوم نترونية . حيث لا يستطيع اى نجم آخر الدوران بسرعة زاوية ما بين ٣٣ ميكرو ثانية حتى ٣,٥ ثانية (الفترات مقاسة بين نبضات من نوابض مختلفة) ، لان القوى الطاردة المركزية كانت ستخرقها .

وسيكون النجم الترونى عبارة عن شكل مستقر اذا لم تتعد كتلته ضعف كتلة الشمس . وماذا سيحدث للنجم اذا كانت الكتلة اكبر ؟

حسب نظرية اوبينهيمر وصنايدر سيتقلص النجم متواريا تحت نصف قطر جاذبيته . والحالة الساكنة للنجم غير ممكنة ، ويحدث ما يسمى بانهيار الجاذبية .

ان نصف قطر الجاذبية يحدد ابعاد الجسم الحدية . وهو يتعلق بالكتلة وبسرعة الضوء c وبثابت الجاذبية $\varkappa$:

$$r_0 = \frac{2m\varkappa}{c^2}$$

وحسبما ينتج من نظرية الجاذبية لأينشتين ، لا يستطيع اى جسيم ان يكون ساكنا داخل المجال الكروى المحدود بنصف قطر الجاذبية . وكل الاشعاعات والاشارات يمكن ان تنتشر فقط نحو المركز ، حيث انها تقع على المركز بشكل لا يمكن معه الامساك بها . ولكن بالنسبة للمراقب من الخارج سيستمر هذا السقوط فترة طويلة الى مالانهاية من جراء التباطوء الشديد لسير الزمن فى مجال الجاذبية الهائل للنجم .

وبهذا يجب ان تكون الصورة التالية امام المراقب من الخارج : اثناء انهيار الجاذبية تنقص اضاءة النجم بسرعة كبيرة وبنفس الوقت يحمر لونه . وتزداد أطوال موجات الاشعاع فى مجال الجاذبية القوى للنجم . وبعد اجزاء من الثانية من بدء الاحمرار الملحوظ يصبح النجم غير مرئي ويشكل بقعة سوداء . ان الضوء غير قادر على خرق شد الجاذبية والانفكاك عن النجم . ان نجما تفوق كتلته كتلة الشمس بأكثر من ثلاث مرات يتحول الى كرة سوداء بشكل مطلق وبابعاد قدرها عدة كيلومترات فقط . ويشهد على وجود البقعة السوداء مجال الجاذبية الشديد القوة المحيط بها .

وقد كان يبدو منذ عدة سنوات فقط ان اكتشاف البقعة السوداء غير ممكن مع ان مجرتنا تحتوى على ملايين البقع السوداء . ولكن ثمة بقعة سوداء من مجرة البجعة X — 1 قد شوهدت اخيرا . وفى الستينيات لفت الانتباه الى انه يمكن ملاحظة البقعة السوداء فى ابراج النجوم المزدوجة التى يكون فيها احد النجوم طبيعيا . وبمساعدة ظاهرة دوبلر يمكن اكتشاف دوران هذا النجم الطبيعى حول مركز ثقل مشترك مع البقعة السوداء وكذلك تقدير كتلة هذه البقعة . ولكن تقدير كتلة النجم غير المرئى وحده (يجب ان تكون اكبر من كتلة الشمس بثلاث مرات) فى المجرات المزدوجة غير كاف . وقد يكون اشعاع النجم الثانى ضئيلا جدا . ولكن فى عام ١٩٦٤ تبين ان البقعة السوداء فى المجموعة المزدوجة الضيقة تجذب اليها الغاز من النجم — التابع . وهذا الغاز حين سقوطه على البقعة السوداء يسخن الى درجة يستطيع معها ان يبعث اشعة اكس . ان مجال الجاذبية للنجم الطبيعى ضئيل جدا لهذه الغاية . هذا وقد عثر فى مجرة البجعة X + 1 على احد مركبات النجم الطبيعى ، وهو ذو

كتلة تفوق كتلة الشمس بثماني مرات . وان هذا المركب هو مصدر لاشعة اكس. وهذا دليل كبير على وجود البقعة السوداء في مجرة البجعة X — I . ومع ذلك فليس جميع العلماء يعتبرون ان الآراء المقدمة غير قابلة للجدل .

المرحلة المبكرة من تطور الكون — حين تحدثنا عن الكون المتسع كنا قد ذكرنا احدى المسائل الاساسية : مم كانت تتألف مادة الكون في لحظة تقلصه الاعظم ؟ ان الحالة البداتية للكون يجب ان تكون بشكل يسمح لنا مبدئيا بشرح صورة الكون التي نراها اليوم .

وقد ظهر اقتراح يفيد بان الكون حين كان في حالة كثافة عظيمة كان مؤلفا من نترونات باردة . ولنفس الاسباب التي في داخل النجم النتروني فان النترونات تتحلل .

وفي اللحظة الاولى يتوسع الكون بسرعة قصوى وبعد ١٥ دقيقة من بدء التوسع يجب ان تكون كثافته مساوية الكثافة الماء . ان « رفوف الطاقة » للالكترونات تترتب اثناء التوسع بما يوافق قوانين ميكانيكا الكم وهي تتقارب من بعضها البعض بشكل اكثر بحيث ان طاقة الالكترون على رف مشغول تصبح اقل من طاقة الالكترون الناتج اثناء تحلل النترون . لذا تبدأ النترونات بالتحلل وتظهر البروتونات .

واثناء اصطدام النترونات بالبروتونات تتشكل نويات الهيدروجين الثقيل — الديتريومات . وتصطدم الديتريومات بعضها ببعض وبالبروتونات مشكلة نويات الهليوم والهيدروجين فوق الثقيل — التريتيوم . وفي النتيجة يفقد الكون البروتونات بسرعة كبيرة . وهذه هي الحالة في هذا النموذج .

وفي المرحلة الاولى من تطور الكون كانت المادة في الواقع

تتألف من الهيدروجين بنسبة ٧٠٪ . ان النجوم تضيء الآن بسطوع ، لان احتياطي الهيدروجين فيها كان هائلا جدا . لذا دحضت الفرضية النترونية عن الحالة البدائية للكون . وبدت ايضا غير واقعية كل نظريات الكون البارد في الحالة البدائية . وكان هذا واضحا الى حد ما بعد ان عثر على اشعاع فضائي حراري بدرجة مطلقة (حسب مقياس كيلوين المطلق) في عام ١٩٦٥ . وعثر على الإشعاع اللاارضي اولا على الموجة ٧,٣٥ سم ثم الموجات الاخرى بمساعدة مرصد لاسلكي . وتنطبق قيمته العظمى على الموجة ١,٥ مم . وسمي هذا الاشعاع « بالاثري» استنادا الى مصدره .

ان وجود الاشعاع الحراري الفضائي يمكن تفسيره فقط بافتراض ان الكون عند بدء توسعه كان ساخنا جدا . وبعد انقضاء سنين كثيرة من بداية توسعه كانت مادة الكون على الاغلب ، تتألف من الكترونات وبروتونات ونويات الهليوم . وبالاضافة لذلك كان هناك اشعاع مغنطيسي كهربائي : الموجات اللاسلكية والضوء واشعة أكس كانت في تعادل حراري مع الجسيمات . واثناء توسعه اللاحق بردت المادة والاشعاع ، كما يبرد الغاز في الاسطوانة حين يكبر حجمه . وبعد انقضاء مئات الآلاف من السنين انخفضت درجة الحرارة الى عدة آلاف . واثناء ذلك اتحدت الالكترونات والبروتونات مشكلة ذرات الهيدروجين وقلت كثافة المادة حتى صارت شفافة بالنسبة للفوتونات . وتوقفت في النتيجة عملية اشعاع وامتصاص الفوتونات عمليا . وان الاشعاع حسب رأي و. غينتربورغ « ينشطر» عن المادة . وفيما بعد تنخفض درجة حرارته وبعد انقضاء ١,٧ × ١٠^١٠ سنة (عمر الكون المتوقع) تصل الى ٣ مطلقة وقد ثبت بدقة قدرها ٠,٠٠١ ، انه لا يوجد اختلاف في شدة الاشعاع الاثري فيما يتعلق بالاتجاه .

وهذا يعني ان توسع الكون ، بدقة مدهشة ، كان يحدث على مدى ٩٩,٩٪ من كامل الوقت بكل الاتجاهات بشكل صارم .

وعلى ما يبدو هذا ما كان يحدث في ابكر مراحل تطور الكون .
وبعد انقضاء زمن $\tau \approx 10^{-6}$ ثانية تقريبا بعد بدء التوسع وبدرجات حرارة تزيد عن ١٠^١٢ مطلقة تبقى من الباريونات النوكلونات فقط : البروتونات والنترونات . وهي تتحول باستمرار من بعضها الى بعض عن طريق الافعال المتبادلة القوية وبالاشتراك مع الميزونات — π والفوتونات :

$$p+\pi^{-}\rightleftarrows n+\gamma \quad ، \quad n+\pi^{+}\rightleftarrows p+\gamma$$

وفي درجات حرارة ادنى من ١٠^١١ مطلقة تختصر كمية الميزونات — π بشدة بسبب نقص الطاقة المصروفة من اجل ولادتها . وتبدأ التحولات المتبادلة للنوكلونات حسب المخطط التالي :

$$n+e^{+}\rightleftarrows p+\bar{\nu}_e \quad ، \quad n+\nu_e\rightleftarrows p+e^{-} \quad ، \quad n\rightleftarrows p+e^{-}+\bar{\nu}_e$$

اى على حساب الافعال المتبادلة الضعيفة بالاشتراك مع النترينوات والالكترونات والبوزترونات .

حين تنخفض درجة الحرارة الى اقل من ١٠^١٠ مطلقة (بعد مرور زمن τ قدره ثانية واحدة من بدء التوسع (يبدأ النقص الشديد لتركيز البخار الالكتروني البوزتروني ويختل التوازن الحراري التحريكي . وتبقى العلاقة ثابته بين البروتونات والنترونات ما لم يصبح التحلل ملحوظا . حين يصبح الزمن τ مساويا ١٠ ثوان يكون في الكون ٨٣٪ بروتونات و ١٧٪ نترونات . وما لم تصبح درجة الحرارة اقل من ١٠^٩ مطلقة فان اصطدام البروتونات والنترونات لا يؤدى الى تشكل الديتريومات حيث ان الفوتونات ذات الطاقة الهائلة تدمرها . وبعد

مرور زمن قدره ١٠٠ ثانية وباصطدام الديتريومات مع بعضها يتشكل الهليوم . وهذه العملية تستمر الى ان تدخل كل النترونات فى تركيب نويات الهليوم . وكما تبين الحسابات يجب ان يكون تركيز الهليوم ٣٠٪ من الكتلة الكلية لمادة الكون . وهذا الرقم يقع فى توافق جيد مع التركيز المعلوم من مراقبة الهليوم فى الوقت الحاضر . ان غياب النويات المستقرة ذات الاوزان الذرية ٥ و ٨ فى الطبيعة يعرقل تشكل نويات اثقل من الهليوم فى قوام الكون الساخن . والعدد العام لهذه النويات يشكل ١٪ فقط لا غير من نويات الكون جميعا (خاصة الهيدروجين والهليوم) . وحسب التصورات الحديثة فان تركيب العناصر الثقيلة جرى فى مراحل متأخرة جدا من تطور الكون فى جوف النجوم واثناء عمليات تفجر على شكل اندلاع النجوم الجديدة والمتجددة العظمى . ويرجع الدور الاكبر لتكوين هذه الصورة للفيزيائى السوفييتى الاستاذ يا . زيلدوفيج .

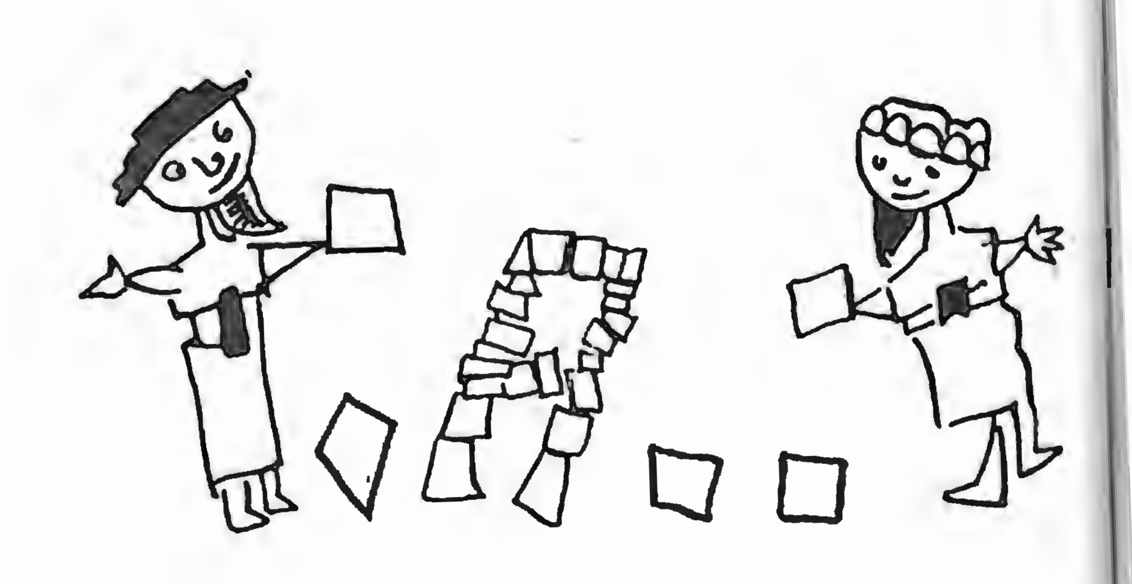
لقد ظهرت كلمة نترينو فى العلم قبل اكثر من ثلاثة عقود . وكانت قد وضعت بداية سلسلة مدهشة من الاكتشافات التى تربطها بما يسمى بالافعال المتبادلة الضعيفة . لقد اغتنت معلوماتنا عن العالم ، ولكننا اليوم اكثر من الامس نشعر بنبضات ذلك « المحيط المجهول » الذى كان قد تحدث عنه نيوتن قبل ثلاثمائة عام .

الفصل السابع

القوى والجسيمات الاولية

نزل البحر ثلاثة قدماء
بعد ان ركبوا في طست ماء
ولو كان للطست القديم بقاء
ما انتهت قصتي طول المساء

اغنية اطفال انكليزية



١ — ما هي الجسيمات الرنينية ؟

جسيم اولي ... ما معنى ذلك ؟ — منذ زمن ديمقريطس وحتى ايامنا هذه ترد في آلاف الكتب كلمة ذرة «atom» وتعني — في اليونانية — غير قابل للانقسام . والذرات نكر وجودها ، وشككوا فيها ، وآمنوا بها — وبعد ان آمنوا (في هذا شيء من الطرافة) سرعان ما اقتنعوا بان هذه الذرات من حيث الجوهر لا تبرر تسميتها . وان تلك الذرات التي يعرفها كل تلميذ ، تملك بنية مدروسة بشكل جيد . ويمكن تقسيمها .

ان الذرات قابلة للانقسام ، وانقسامها اصبح عاملا حاسما لكل حياتنا . انها تتكون من جسيمات اكثر دقة . الا يمكن بالتالي ان نطلق على هذه الجسيمات اسم ذرة ؟ وهذا ما حدث من حيث الجوهر ، تغير الاصطلاح فقط — صاروا يدعون الجسيمات بالجسيمات الاولية .

الجسيم الاولي... ما هو في حقيقة الامر ؟ ان كلمة « اولي » حسب ملاحظة كاربين ودي بينيديتي ، تتضمن ازدواجية رائعة في المعنى . ويمكن ان تعنى اما ما يفهم مباشرة ، او شيئا عميقا لم يفهم من قبل احد حتى الآن . وبالمعنى الاخير خاصة يسمون الآن الجسيمات دون الذرية بالجسيمات الاولية .

وقد تبين في البداية ان كل شيء بسيط : هذه الذرات عبارة عن حبات من المادة غير قابلة للتحطيم اكثر من ذلك . ان اكتشاف اي جسيم جديد شكل ويشكل الآن انتصارا عظيما للعلم . ولكن في الثلاثين سنة التي مضت بدأ شيء من القلق يساور كل انتصار محقق . وكثيرا جدا ما كانت تحدث هذه الانتصارات . ان عدد الجسيمات

تجاوز الثلاثين . هل يعقل انها جميعا اولية ؟ وضمنها ايضا تصادف جسيمات مثل الميون ، الذى يبدو حتى يومنا هذا هوسا غير مفهوم من الطبيعة ...

وثمة ظرف آخرِ غير قليل الاهمية . ان غالبية الجسيمات غير أبدية . فهى تولد ، تعيش لوقت ، يقاس من عدة دقائق للنترون حتى بعض الاجزاء من الثانية للميزون ـ π^0 والجسيمات الاخرى ، ثم تموت مولدة جسيمات جديدة .

وبالرغم من كل شيء ، وبعد بعض التردد قرر العلماء انه من المناسب اعتبار جميع الجسيمات اولية ، وان فناءها يجب النظر اليه لا كانحلال الى الاجزاء المكونة بل كتحول احدها الى الآخر . وكل ما فى الامر ان الجسيمات ـ الاخلاف ، كما اشير سابقا ، توجد فى علاقة مع الجسيمات ـ الاسلاف ، مغايرة تماما لعلاقة كسارات القدر المحطم بالوعاء السليم الذى كان موجودا سابقا .

أقصر الجنيمات عمراً ـ ان الوضع فى فيزياء الجنيمات الاولية كان متوترا بما فيه الكفاية حتى قبل ان يحدث ما فاقم الموقف الى اقصاه . ان سلسلة جديدة من الجسيمات قد اكتشفت ، وهى ذات مدة بقاء قصيرة ، للدرجة ان احد الجسيمات وهو الميزون ـ π^0 ، ذو مدة البقاء القصيرة ، يبدو بالمقارنة معها انه يعيش ابدا . اذا ان الميزون ـ π^0 يعيش اكثر منها بمليار مرة .

ان مدة بقاء هذه الجسيمات (١٠

لا تترك اية آثار فى حجرة ولسون . تولد وتموت مباشرة بعد ان تطير مسافة بقدر حجم البروتون (١٠$^{-١٣}$ سم) .

لقد برز سؤال طبيعى مباشرة : هل يجب ان نضيف هذه الجسيمات الى قائمة الجسيمات الاولية المعروفة ام لا ؟ من جهة ،

كما يبدو ، نعم ! فهي كالجسيمات العادية تتميز بكتلة وشحنة ، وفترة بقاء ، ولف ذاتي والخ . ولكنها... تعيش لوقت قليل جدا . باالعجب كيف توصل العلماء الى اكتشاف هذه الاشياء . ولكن الاكتشاف قد تحقق ، بل تحقق بشكل مقنع للغاية . يبدو ان الشيء غير الظاهر ايضا يمكن اكتشافه تجريبيا .

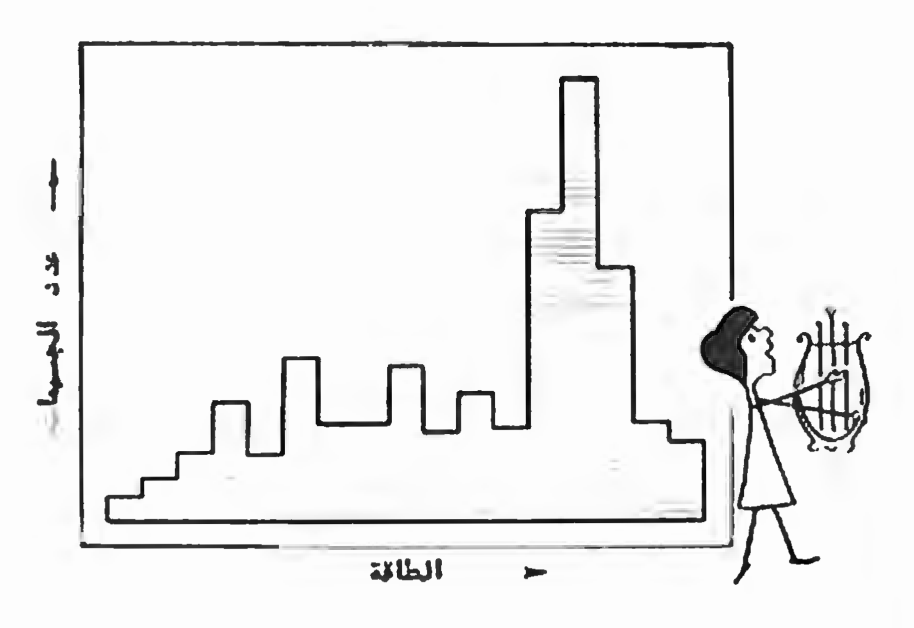
ان تسمية الجسيمات الرنينية (Resonances) * تعكس على الارجح ليس طبيعة هذه الجسيمات ، بل تلك الطرائق التى تم اكتشافها بمساعدتها .

كيف يمكن اكتشاف الشيء غير الظاهر ؟ — اكتشفت المجموعة الاولى من الجسيمات الرنينية لدى دراسة تشتت الميزونات — تحولها الى نوكلونات (بروتونات ونترونات) . وذلك عند تعريض نشان حاوى على الهيدروجين للاشعاع بواسطة حزمة صغيرة من الميزونات — π الموجبة . واكتشف العلماء ان الميزونات — π تتشتت بشدة خاصة ، حين تصل طاقتها الحركية حتى ٢٠٠ مليون الكترون فلط . ويلاحظ ، كما يقول الفيزيائيون ، رنين : يتضاعف عدد الميزونات المتشتتة بشدة عند طاقة معينة .

ويمكن الافتراض ، مجازا ، بان الميزون — $\bar{\pi}$ والبروتون « يتمازجان » لبعض الوقت ، متحولين الى جسيم جديد ، ينشطر مرة اخرى الى ميزون — π وبروتون . ومن السهل تعيين كتلة هذا الجسيم من قوانين حفظ الطاقة ، وهى كما تبين تساوى ١٢٣٦ مليون الكترون فلط اذا عبرنا عن الكتلة بوحدات الطاقة ، كما هو معتمد فى فيزياء الجسيمات الاولية .

---

* حالة غير مستقرة لنظام معقد يمكن ان تحدث عند اصطدام جسمين دقيقين مع بعضها البعض — المترجم .



ولما لم تكن قد حلت بعد مسألة الطبيعة الحقيقية للحالة الانتقالية لهذا الجسيم (رمزه Δ^{++}) فان الفيزياثيين سموه ، وبحذر ، جسيم رنيني ، لكى يشار الى الطبيعة الغير واضحة بشكل كاف لهذا التكوين . لعل كلمة رنين معروفة لكم . فالشوكة الرنانة التى تقع عليها الموجة الصوتية ترن ، اى تهتز باكبر قوة عند توافق تردد الذبذبات الصوتية مع التردد الخاص للشوكة الرنانة . ومثل هذه الصورة عادية بالنسبة لتشتت الموجات فى اية طبيعة كانت .

ولنتذكر الآن انه تنشأ فى ميكانيكا الكم علاقة بسيطة وعادية بين التردد والطاقة . وتختلف الاخيرة عن التردد فقط فى المضروب فيه h (ثابت بلانك) اى ان الرنين فى لغة الكم يقابل تلك الواقعة ، التى تتطابق فيها طاقة الجسيمات المتشتتة (وهذه تعتبر موجات ، حسب الثنائية الجسيمية الموجية) مع الطاقات « المسموحة » بالنسبة للمشتت . ان الطاقات « المسموحة » هذه تحمل معلومات هامة جدا : انها متناسبة مع كتل تلك الجسيمات ـ الرنينية التى تبرز لبرهة وجيزة فى المراحل الانتقالية من التشتت .

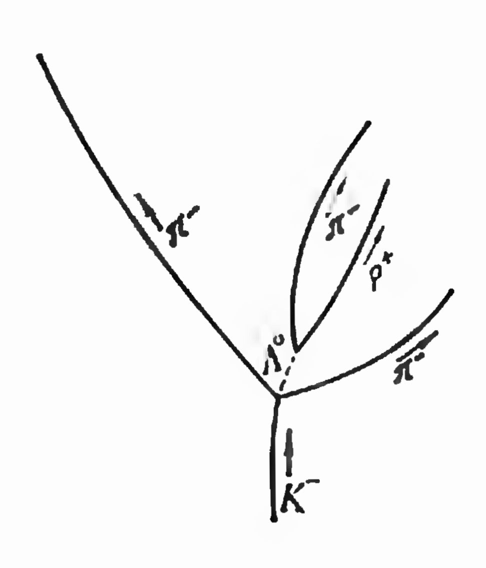
ويمكن حسب عرض المنحنى الرنينى (اى التمثيل البيانى المشير الى علاقة احتمال التشتت بطاقة الجسيم الصادم) ان تقدر فترة بقاء الجسيم الرنينى . وهنا تساعدنا علاقة اللامحققية (لهيزنبيرج) بين الطاقة والزمن . فعرض المنحنى يعطى نظام لامحققية طاقة الجسيم الرنينى ΔE . وفترة بقائه تساوى :

$$\Delta t \sim \frac{h}{\Delta E}$$

وهذا الزمن ، كما يتضح ، يساوى تقريبا ١٠−٢٣ ثا . وبسرعة قريبة من سرعة الضوء يقطع الميزون خلال هذا الزمن مسافة ١٠−١٣ سم ، وهذا يساوى بالضبط ابعاد مجال الفعل المتبادل بين الميزون والبروتون .

<u>من اين نحصل على النشان الهيبرونى ؟</u> — عندما اكتشفت الجسيمات الرنينية المرتبطة بتشتت الميزونات — π على النوكلونات لم يكن ، تقريبا ، لدى اى من الباحثين شك بان الجسيمات الرنينية لا تعتبر خواصا لتلك الانظمة فقط . فقد امكن اكتشاف الجسيمات الرنينية فى انظمة من طراز ميزون — هيبرون (جسيمات رنينية باريونية) . كذلك وجدت مجموعة جسيمات رنينية ميزونية ($\pi - \pi$ ، $K - \pi$ ، $K - K$ .... الخ) . غير ان اكتشافها فى هذه الحالات يصبح من المستحيل بدراسة تشتت الجسيمات على بعضها البعض . ومن المستحيل مثلا صنع نشان من هيبرونات — Λ^{0} . فالهيبرونات تنحل خلال زمن قدره ١٠−١٠ ثانية . وكذلك تنحل الميزونات — π . اما كيف يمكن ادراك الجسيمات الرنينية فى انظمة كتلك فسنبينه فى مثال لجسيم رنينى فى نظام ميزون — π — هيبرون — Λ^{0} .

واذا فجرت بروتونات ما بواسطة ميزونات — K ذات قدرة عالية ، فانه غالبا ما يلاحظ تفاعل يجرى حسب المخطط التالى :



$$K^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + \pi^-$$

حيث ان الميزون — K يصطدم مع البروتون ويولد هيبرون Λ^0 واثنين من الميزونات — π .

وبعد دراسة كمية كبيرة وكافية من تلك التفاعلات ، يمكن ايجاد عدد من الميزونات — π ، التى تملك طاقة معينة . ثم يمكن رسم منحنى للعلاقة بين عدد الميزونات — π^- وطاقاتها : ويدعى هذا المنحنى بطيف طاقة الميزونات . وطبيعة المنحنى يجب ان تتعلق بكيفية سير التفاعل . ولنفترض انه عند حدوث التفاعل ، تولد الجسيمات الثلاثة Λ^0 ، π^+ ، π^- جميعا فى آن واحد . ثم تطير فى اتجاهات مختلفة ، احدها مستقل عن الآخر . وعندها فان الطاقة الابتدائية للميزون — K^- والبروتون تتوزع بمختلف الطرق بين الجسيمات الوليدة . ان قوانين حفظ الطاقة والدفع تعين ، بمدلول واحد ، فقط القيمة العظمى الممكنة لطاقة الميزون — π^- . ولكن الطاقة قادرة على تقبّل اية قيمة : ابتداء من الصفر وحتى اعظم قيمة .

ان الامر سوف يجرى بشكل مغاير تماما ، اذا كان الهيبرون — Λ^0 والميزون — π^+ سيسلكان بعد العملية مباشرة سلوك الوحدة التامة . فعندها تتوزع الطاقة الابتدائية للجسيمين — K^- و p بين الجسيمين ، وقانونا حفظ الطاقة والدفع يعينان بمدلول واحد قيمة طاقة الجنسيمين

لناشئين . وببساطة نقول ، ان قانوني حفظ الطاقة والدفع يعتبران في هذه الحالة معادلتين ذات طاقتين مجهولتين للجسيمات الوليدة . ذلك لانه يمكن التعبير عن الدفع من خلال الطاقة . ولدى ولادة ثلاثة جسيمات مباشرة ، سيكون عدد المجاهيل ثلاثة . وطاقات الجسيمات الوليدة لن تتحدد بمدلول واحد . ان المنحنى التجريبي يتميز بطفرة حادة عند طاقة معينة للميزون π^- . اي انه في الكثير من الحالات ، لا تولد الجسيمات الثلاثة جميعها في آن واحد . بل يولد في البداية اثنان ثم ينحل واحد منهما :

$$K^- + p \rightarrow \Sigma^{*+} + \pi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + \pi^-$$

حيث Σ^{*+} النظام الانتقالي ، الذي يسلك سلوك الوحدة التامة . وهو مثل Δ^{0} يسمى جسيم رنيني . وتعطي قوانين الحفظ امكانية ايجاد كتلته : ١٣٨٥ مليون الكترون فلط . وحسب الطفرة الرنينية يمكن تعيين فترة بقاء الجسيم الرنيني Σ^{*+} . وهذه الفترة كما يبدو تساوي فترة بقاء Δ^{+}.

الى جانب الجسيم الرنيني Σ^{*+} المشحون بشحنة موجبة يوجد بعد Σ^{*-} ذو الشحنة السالبة و Σ^{*0} المحايدة . ان كتلها متساوية تقريبا .

وقد اكتشفت جسيمات رنينية اخرى بطرق مماثلة . ويزيد عددها الاجمالي الآن على المائتين .

٢ – ترتيب الجسيمات الاولية

كل جسيم اولي هو « تركيب » لجميع الجسيمات الاخرى – ان اكتشاف الرنينية زاد صورة العالم تعقيدا . وغدا السؤال ، عن ماهية

الجسيم الاولى ، اكثر تعقيدا . ولم يكن من الممكن التأكد بثقة ان الـ ٣٥ جسيما ، ذات فترة البقاء الكبيرة نسبيا (لا حدود لفترة الحياة عند البعض منها) تعتبر جميعها اولية . لقد صار عددها كثيرا للغاية . وقد اضيفت اليها الجسيمات الرنينية .

ولكن لا ينحصر الامر فقط في هذا . حيث لم يعد من المشكوك فيه ان الجسيمات المسماة عادة بالاولية ، تتمتع في الواقع ببنية معقدة للغاية . وهكذا ، مثلا ، فان البروتونات محاطة بسحب من البيونات — Pion * . ومن حيث التركيب يدخل البيون في النوكلون . وتستطيع الميزونات — π بدورها ان تتحول الى زوج من نوكلون ومضاد النوكلون . وبالنتيجة ، لا يمكن وضع الجسيمات في ادراج ودراسة كل واحد منها بشكل منعزل . ان كشف هوية واحد من الجسيمات . مهما يكن ، مستحيل دون اخذ الآخرين بعين الاعتبار . وكل جسيم بسيط حسب تعبير ماركوف يبدو « تركيبا » للاجسام جميعا . وتحصل حلقة مغلقة : خواص واحد من الجسيمات تتعين من خواص الجسيمات الاخرى كافة . الا تتقطع هذه الحلقة في مكان ما ، او بمعنى آخر الا توجد جسيمات اكثر بساطة ، تبنى منها الجسيمات الاخرى، ام ان جسيمات من هذا النوع لا توجد في الطبيعة ؟ ان هذا غير معروف حتى الآن . ولا يوجد لدينا اى مقياس لبساطة الجسيم . ويمكن التفاؤل في ان اكتشاف الجسيمات الرنينية عقد مؤقتا صورة العالم . وان دراستها في المستقبل ستساعد في حل مشكلة البنية الداخلية للجسيمات الاولية ، المشكلة التي تعتبر على رأس المشاكل في الفيزياء المعاصرة .

---

* البيون هو اي جسيم اولى في كل تفاعل نووي قوي وعدد باريوني مساو الصفر— المترجم .

لعل من اكبر الضرورات التي برزت بجلاء ، اثناء دراسة مسألة الجسيمات الرنينية هي ادخال الجديد على طرائق الوصف النظري المعتمدة سابقا .

تباشير الوحدة – ان اكتشاف الجسيمات الرنينية ساعد على رؤية ما بقي حتى اليوم مخفيا عن انظار الباحثين . تصوروا ان امامكم لوحة كبيرة ، مخفية وراء ستار ثخين ، وتريدون معرفة ، ماذا وراء الستار ، لكن لستم من القوة بحيث تستطيعوا ازاحة كل الستار دفعة واحدة . ها قد افلحتم في اختراق الستار من مكان ما ، ثم في آخر ، اشكال صغيرة منفردة اصبحت ترى هنا وهناك . والآن لاشك في ان امامكم لوحة تحتوي على الكثير من الشخصيات المؤثرة ، وليس قطعة ملطخة من الخيش . ومع شيء من الجهد – ها هي رقع كاملة من اللوحة غدت مكشوفة ، يمكن رؤية صلة عميقة ، على البعض منها ، بين الشخصيات الممثلة ، ووحدة في التركيب . ورقع اخرى يصعب بسبب صغرها ، ان نفهم بماذا ترتبط جزيئاتها المنفردة .

ان تخمين ما هو الشيء المشترك بينها ، بواسطة مقتطفات عرضية ، وادراك ذلك الشيء الكامل الممثل على اللوحة ، التي يخفي عنكم الجزء الكبير منها ، اصعب بكثير ، ولكن ها هو الستار يبدأ بالانحسار تدريجيا . امعنوا النظر في الصورة ، ستتكشف الطبيعة المتكاملة العجيبة للصورة .



مقتطفات منفردة تمتزج سوية . بالاضافة الى انه يمكنكم تخمين وتخيل ان ثمة اشيا على اللوحة لم يدركها النظر بعد .

الصورة ليست بسيطة . ان شيئا ما شبيها ، تقريبا ، قد حدث في الفترة الاخيرة . حيث تجلت خليقة المعلم العظيم – الطبيعة عالم الجسيمات الدقيقة للغاية بعد اكتشاف الجسيمات الرنينية في شكل واضح امام العلماء ، اكثر من اي وقت مضى .

توائم في ثياب كهربائية – ما كاد الفيزيائيون يبدأون بالتعرف على الجسيمات الاولية حتى بدأ كل واحد منها كفردية منعزلة جلية . ولكن عدد الجسيمات المعروفة كان قد تكاثر . وبطريقة ما بدأت تنقسم بنفسها الى مجموعات ، ارتسمت داخل كل منها علائم قرابة معينة .

ها قد بدأ تصنيف الجسيمات .

حسب اية علائم يمكن القيام بالترتيب التصنيفي ؟

تأريخيا كانت الكتلة اول علامة (ولعل المثال المدهش لتصنيف مندلييف للعناصر لعب دورا لا بأس به هنا) . قسمت الجسيمات الى مجموعات – كانوا يسمونها حينئذ هكذا : خفيفة ، متوسطة ، ثقيلة . غير ان هذا المخطط اقتضى التدقيق . كان يجب ان يؤخذ اللف الذاتي و– ما هو هام بالنسبة لنا خاصة – طبيعة الفعل المتبادل بعين الاعتبار . وهكذا ولدت الطوائف الشهيرة للجسيمات : ليبتونات * ، ميزونات ** ، جسيمات ثقيلة باريونات واخيرا

---

* الليبتون Lepton – جسيم نووي ضئيل الكتلة (كالالكترون) – المترجم .

** ان كتلة الميزون μ الكبيرة اضلت العلماء وجعلتهم ينسبونها الميزونات . والآن اصبح واضحا انه بطبيعته ليبتون .

اضيفت الجسيمات الرنينية او الريزونانسات اليها . وكنا تعرفنا على هذا التصنيف حين نظمنا جدول الجسيمات الاولية .

ولكن اليكم هذا الشيء الطريف . اذا امعنا النظر بانتباه اكثر الى هذا الجدول فانه من السهل اكتشاف مجموعات من الجسيمات ضمن الميزونات والباريونات توحي مباشرة بفكرة انشاء مجموعات فرعية واضحة .

اليكم مثلا ثلاثة من الميزونات ـ π : π^{+} و π^{-} و π^{0} . لو لم تكن ثمة شحنات ، كيف كنا سنفرق بينها ؟ ان جميع الجسيمات ، حسب علاقتها بالافعال المتبادلة تسلك بشكل مطلق مسلكا واحدا . لانها ذات لف ذاتي واحد . ان الاختلاف في كتلاتها غير كبير ـ وهو ذو منشأ مغنطيسي كهربائي : ولو ضاعت الشحنات الكهربائية ـ لغدت الكتل متساوية . ولن نملك انفسنا عن القول هنا ، بان الميزونات ـ π الثلاثة ليست في الجوهر جسيمات مختلفة ، بل هي عبارة عن جسيم واحد، موجود في ثلاثة اوضاع شحنية مختلفة . ان الميزون ـ π ليس المثال الوحيد الذي نعرفه عن التوائم المختلفة بالثياب الكهربائية . وقد يذكر القارىء كيف قادنا الحديث عن القوى النووية الى النتيجة نفسها بالنسبة للبروتون والنترون . ويمكن القول ان هذه ليست حالة ما خاصة ، بل هي قاعدة ، لا يمكن المرور بها دون ابداء اليقظة . وسنتعرف بقرب على المولتيبليتات * الشحنية (هكذا اصبحت تسمى مجموعات الجسيمات التي تختلف فقط بالوضع الشحني) . وبالاضافة الى تريبليت

---

* مولتيبليت Multiplet مجموعة مناسيب الطاقة الواقعة بالقرب من بعضها البعض نسبيا والناشئة عن انشطار منسوب طاقة واحدة نتيجة لتفاعل داخلي ضعيف نسبيا ـ المترجم .

(مولتيبليت من ثلاثة جسيمات) الميزونات $-\pi$ ، يوجد ايضا تريبليت هيبرونات $-\Sigma$. وكالبروتون ، تشكل الميزونات $-K$ مع النترون ثنائية شحنية (جسيمين) ؛ هيبرون Λ^{0} مفرد، اى ممثل وحيد لثنائية شحنية خاصة Doublet .

لقد تبين ان الجسيمات الرنينية او الريزونانسات هى ايضا توائم فى « ثياب كهربائية » . فالى جانب الريزونانس Δ^{++} ، الحاصل لدى تشتت الميزونات π^{+} ، يوجد على البروتونات ريزونانسات أيونية — نوكلونية Δ^{+} ، Δ^{0} ، Δ ويفرق بينها فقط بالشحنات الكهربائية . وهذه الشحنات الكهربائية تساوى على التوافق $2e$ ، e ، O و $\bar{e}$.

ان الانتماء الى مولتيبليت شحنى معين ، كذلك عدد الجسيمات فى هذا المولتيبليت ، هما اهم ملاحظتين فى هوية الجسيم الاولى . ولكن ، كما يتضح ، من الاسهل بكثير التكلم ليس عن عدد الجسيمات فى المولتيبليت ، بل عما يسمى باللف الذاتى النظائرى وعن مساقط اللف الذاتى النظائرى .

ما هو اللف (كمية التحرك) الذاتى النظائرى — ان المصطلح نفسه « اللف الذاتى النظائرى » عبارة عن مجموعة من مفاهيم التقينا بكل منها على حدة . وكما تذكرون تسمى بالنظائر ، تلك العناصر التوائم التى لا تختلف بخواصها الكيميائية ، ولكنها تملك لدرجة ما « بارامترات » فيزيائية ممتازة — الكتلة على سبيل المثال .

ان جميع النظائر فى جدول مندلييف تقع فى مربع واحد ، وهى تحمل تسمية واحدة . فمثلا نقول ان الهليوم ثلاثة (He^{3}) والهليوم — اربعة (He^{4}) — ليسا عنصرين مختلفين بل هما وضعان مختلفان لعنصر واحد بذاته . وهكذا ، ينظر لجميع الجسيمات —

عضوا» عائلة مولتيبليت شحني واحد كجسيم واحد ايضا ، لكنه موجود في اوضاع مختلفة .

اذن ، هل للّف الذاتي يد في ذلك ؟ اذا كان المقصود باللف الذاتي ما يمكن تعريفه بـ «عزم الدورات الذاتي» ، فليس له يد في الامر . اما اذا كانت ثمة كلمة واحدة تستعمل في معان مختلفة كليا ، فليس هنا اى جديد او عجيب . وما اكثرها تلك الامثلة ؟ ان كلمة «درجة» تعمل بنجاح تام لدى الحديث عن الحرارة ومن اجل قياس الزوايا . وتلك الزوايا ذاتها يمكن قياسها بالدقائق والثواني ، وهي تعتبر في الوقت نفسه مقاييس لقيمة اخرى تماما الوقت . غير ان المثل الاخير يستدعي التوقف عنده . ان عقرب الساعة يسير على الميناء . واذا قطعت دورة كاملة – ساعة واحدة ، فان تغير الزاوية خلال دقيقة واحدة (دقيقة من الوقت) يساوي بالضبط دقيقة «زاوية» واحدة . ثمة موازاة كاملة – مرتبطة طبعا باختيار ذلك «النموذج الميكانيكي» الذي نستخدمه من اجل قياس الزمن (فمثلا ، لو كنا قد اخذنا الساعة الرملية ، لما حصلنا على شيء من هذا القبيل) .

ولنختر الآن «نموذجا ميكانيكيا» آخرا - جسيم ذو لف ذاتي معين . وليكن هذا اللف الذاتي مساويا على سبيل المثال $^1/_2$ (في وحدات $\hbar$) . ومثل هذا الجسيم ، كما نذكر يمكن ان يملك اتجاهين لا اكثر – اما ان يكون لفه الذاتي موازيا للدفع او موازيا عكسيا له . اتجاهان ، حالتان ممكنتان . اما اذا كان اللف الذاتي مساويا للصفر ، فانه بلاشك «كيفما ادرنا» الجسيم لن يتغير شيئا – اي هنا حالة واحدة فقط .

واللف الذاتي المساوي للواحد ؟ ان الحساب الكمي يقول انه

من الممكن هنا وجود ثلاث حالات مختلفة . واذا كان اللف الذاتي ٣/٢ ، فان تلك الحالات تكون اربع والخ . وفي الحالة العامة فان اللف الذاتي المساوي n ، يضمن امكانية $2n+1$ في مختلف الحالات « الداخلية » كما يسمونها . والآن لنستعيد الى الاذهان « عائلات » الجسيمات . نذكر ، اننا نعتبر من جديد اعضاء كل واحدة من هذه العائلات كجسيم واحد ، ولكن في حالات « داخلية » مختلفة . وعدد تلك الحالات تختلف من « عائلة » الى « عائلة » . فلدى افقرها (هيبرون — Λ^{0}) — واحد لا اكثر . (كيف بنا لا نذكر اللف الذاتي الصفري !) . وعددها لدى النوكلونات وغيرها اثنتان . ومرة اخرى ثمة تشابه تام مع حالة اللف الذاتي ١/٢ .

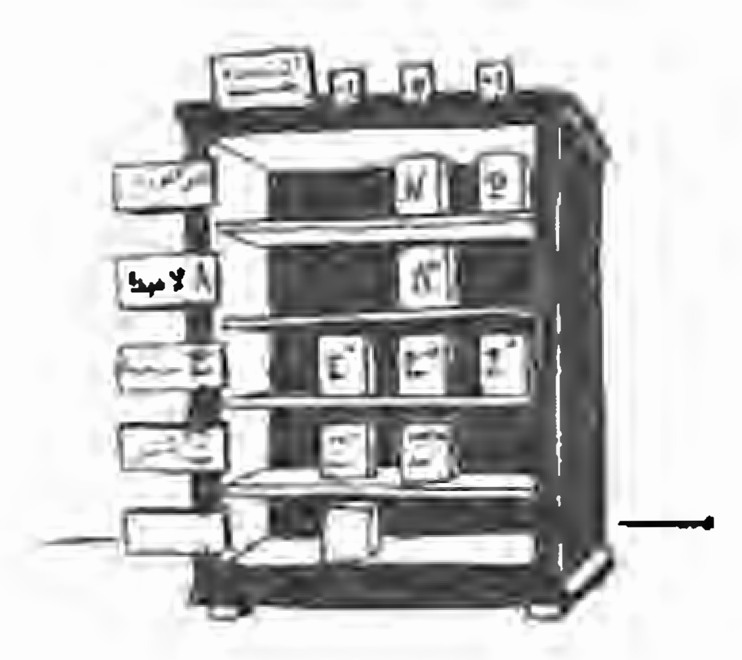
ان لدى الميزونات — π (π^{+} ، π^{0} و π^{-}) ثلاث وحدات متساوية كما لدى اللف الذاتي .. الخ . والآن نرى ان « نموذجنا الميكانيكي » يحقق نفسه . وها هي جميع الاسس اصبحت موجودة للحديث عن اللف الذاتي النظائري .

اننا نستطيع المضي خطوة اخرى : لنتذكر ، انه في الوقت الذي يبين فيه اللف الذاتي (يدور الحديث من جديد عن « اللف الذاتي الميكانيكي ») عدد الاوضاع الداخلية الممكنة ، فان المهمة الملقاة على عاتق كل من هذه الاوضاع يمكن تحقيقها ، مثلا بالاشارة الى كيفية توجه اللف الذاتي (بالنسبة للدفع او عموما لاي محور ، ووفقا للتقاليد يختار عادة المحور z) ؛ وكذلك يمكن التعبير بهذا الشكل : الوضع يتعين بمسقط اللف الذاتي على المحور z . لاشيء يخيفنا من التصرف بشكل مماثل ايضا في حالة اللف الذاتي النظائري ، والحاق قيمة معينة من « مسقط اللف الذاتي

الجسيم الاولي	عدد الجسيمات الاولية في المولتيبليت	اللف الذاتي النظائري	شحنة الجسيم الاولي	مسقط اللف الذاتي النظائري
Λ^0	0	0	0	0
p n	2	1/2	$+e$ 0	$+1/2$ $-1/2$
π^+ π^0 π^-	3	1	$+e$ 0 $-e$	$+1$ 0 -1
K^+ K^0	2	1/2	$+e$ 0	$+1/2$ $-1/2$
Σ^+ Σ^0 Σ^-	3	1	$+e$ 0 $-e$	$+1$ 0 -1
Δ^{++} Δ^+ Δ^0 Δ^-	4	3/2	$+2e$ $+e$ 0 $-e$	$+3/2$ $+1/2$ $-1/2$ $-3/2$

النظائري على المحور z » بكل واحد من اعضاء « العائلات متساوية اللف الذاتي » . طبعا كان من الممكن اظهار الشحنة فقط . ويبدو مما سبق ان هذا المسقط يعين شحنة جسيم العائلة ، ولكن يتبين ان مسقط اللف الذاتي النظائري هو بالضبط القيمة الاكثر ملاءمة من اجل جهاز رياضي للنظرية .

ولكن القضية لا تكمن فقط ، والى هذا القدر ، في الملاءمة . ان اللف الذاتي النظائري يتمتع باحدى الخواص الغير عادية الاهمية ، والتي ترقيه الى مكان محترم : ففي الافعال المتبادلة ، القوية يظل اللف الذاتي النظائري على حاله . وهذا يعني انه لدى حدوث اية



تحولات تسببها افعال متبادلة قوية ، فان قيمة اللف الذاتي النظائري الاجمالية لجميع الجسيمات قبل التحول هي نفسها كما لدى الجسيمات المتشكلة بعد التحول . وهكذا ، ففي التفاعل

$$p+\pi \rightarrow n+\pi^{0}$$

فان اللف الذاتي للجسيمات الابتدائية تساوي ٣/٢ ايضا (١/٢ لدى البروتون و ١ لدى الميزون π^-) . ويكون لدى الجسيمات في الحالة النهائية لف ذاتي نظائري اجمالي يساوي ايضا ٣/٢ (١/٢ لدى البروتون و ١ لدى الميزون ـ π^0) . وقانون الحفظ الوحيد هذا ، يتحقق فقط في الافعال المتبادلة القوية .

لقد ذكرت بعض الامثلة في الجدول في الصفحة السابقة ، عن التطابق بين عدد الجسيمات في المولتيبليت الشحني وشحنات الجسيمات ، من جهة ، وبين اللف الذاتي النظائري ومساقطه من جهة اخرى .

ان المشاهدة على اية حال اكثر من السرد وضوحا . لنتصور

انا نقوم بترتيب الجسيمات ، الباريونات مثلا ، اى نوزعها على رفوف ، لا بالمعنى المجازى للكلمة بل بالمعنى الحرفى . نرسم هذه الرفوف واحدة بعد الاخرى ، بالنسبة لكل مولتيبليت شحنى ، وستخصص امكنة من اجل الجسيمات حسب شحناتها .

والآن ، بعد ان وزعت الجسيمات على الرفوف ، يمكن ان نتمتع بما فعلته ايدينا . ولكن ثمة شيء غريب ـ لقد اتضح ان التنظيم ليس متناظرا فى شيء ما . ويمكن وصف هذا اللاتناظر كميا ، لهذا نعين الشحنة الوسطية على كل رف . والشحنة الوسطية للمولتيبليت تساوى بالنسبة للنوكلونات + ١/٢ . وسوف نقارن جميع الشحنات الوسطية كباريونات المولتيبليتات الاخرى مع تلك القيمة . (ولكي نحصل على قيم صحيحة ، لاكسرية ، من الافضل ان نأخذ الفرق المضاعف لشحنات المولتيبليتات الوسطية . اليكم على سبيل المثال الجسيمات ـ Ξ . فالشحنة الوسطية تساوى ـ ١/٢ . والفرق المضاعف من ذلك ومن الشحنة الوسطية للنوكلون يساوى ٢ . وبنفس الطريقة نحصل بالنسبة للتريبليت على القيمة ـ ١ كما هى عند °٨ . وليس من الصعب ان نقوم بحسابات مشابهة من اجل الميزونات ايضا . متخذين الميزونات ـ π « مقياسا » (اى ان تحولها يساوى الصفر) . ألا تذكركم الارقام الناتجة بشيء ما ؟ طبعا ، هذه قيم فردية الكترونات التكافؤ ، التى لعبت دورا هاما عند الحديث عن الافعال المتبادلة الضعيفة .

طريف جدا ! فمن وجهة النظر الجديدة ، توصلنا من جديد ، خلال اهتمامنا بترتيب الجسيمات ، الى ضرورة ادراج فردية الكترونات التكافؤ فى البحث (نحن لا نفكر بأى نوع من انواع التحللات أو التحولات المتبادلة) .

لبنات داخل لبنات ـ عندما وضعنا امام انفسنا مهمة تنظيم

الجسيمات الآخذة بالازدياد (لدرجة اننا نقتني خزانة لهذا الغرض) حصلنا على اربع علائم : اللف الذاتي ، الكتلة ، الشحنة ودرجة فردية الكترونات التكافؤ . فاللف الذاتي يعلمنا في اية خزانة (باريونية ام ميزونية) يجب ادخال الجسيم (ولن نتطرق للحديث عن الليبتونات) . اما القيم الاخرى فهي تشير الى رقم الرف المطابق والمكان عليه .

ان كل شيء رزين ودقيق ، التنظيم قد انجز ، والتصنيف اصبح موجوداً! لكن اي فائدة من ذلك ؟ هل لهذا التصنيف معنى فيزيائي؟ هل تم اختيار تلك العلائم التي تم على اساسها التصنيف ، بشكل صحيح ؟ تصوروا لو اننا لم نقم بتصنيف الجسيمات ، بل انشغلنا بالتصنيف في علم الحيوان ، واخذنا كاساس لذلك ، مثلا ، وزن الحيوان وسيظهر التمساح او الخنزير اقرب الجميع للانسان . ان الامر ليس بالمدارة . فتصنيف كهذا لا يساعد على تعميق فهمنا لعالم الحيوان . وهكذا هل يمكن القول ان تصنيفنا للجسيمات جيد ؟

نلاحظ قبل كل شيء بان العلائم المختارة هي مقادير لا تتغير في الافعال المتبادلة القوية . وفي جميع التحولات الناشئة عن هذه الافعال ، تكون الشحنة الكهربائية ، للمواد ، الداخلة ولتلك الخارجة ، متساوية في الحالة النهائية . والشيء نفسه يمكن قوله عن اللف الذاتي ودرجة فردية الكترونات التكافؤ (ان تحليل وضع الكتلة اعقد ، ولن نتناوله هنا) .

ومن الممكن ان ينجم انطباع ، بان ثمة حاملات مادية للشحنة واللف الذاتي ، او جسيمات ثانوية ، تتلاصق بشكل معين فتشكل الباريونات والميزونات ، بالاضافة الى ان هذه الجسيمات الثانوية لا تفنى ولاتنشأ من لا شيء بل تنتقل من حالة الى اخرى . فاذا آمنا

بذلك فان الحفاظ على الشحنة او اللف او فردية الكترونات التكافؤ ، ليست اغرب من الحفاظ على عدد القطع فى لعبة الاطفال ، بغض النظر فيما اذا صنع من هذه القطع قطارا لم طاحونة . وقد سميت الجسيمات الاولية منذ زمن بعيد ، بشكل شاعرى ، بلبنة المادة . ولما كانت هناك ثمة جسيمات ثانوية اخرى ايضا ، فانه من الممكن ان تكون هذه اللبنة مركبة من لبنة اخرى « اكثر بساطة » ؟ وهذه الفكرة مغرية الى درجة تدفعنا ان لانحرم انفسنا من متعة التحدث عنها بشكل مفصل .

الكواركات * — قبل كل شيء سنشير الى ان للجسيمات الثانوية لفا ذاتيا يساوى $1/2$. وفعلا يمكن ان نشكل من النصف عزوم عزوما صحيحة وعزوما نصف صحيحة ، بينما لم يكن ذلك بالامكان فى حالة اللف الذاتي المساوى للصفر او للواحد او لاى عدد صحيح آخر.

ولكن ماذا عن الشحنة ، والكتلة ، وفردية الكترونات التكافؤ ؟

ثمة مفاجأة تنتظرنا . فلقد اتضح بان اكثر الصور كمالا تنشأ ، اذا تخلصنا من العادة المتأصلة ، ونسبنا الى لبناتنا شحنات كسرية غير صحيحة (اى تقبل القسمة) .

شحنات كسرية ! لقد كانت مثل هذه الفكرة هذيانا منذ زمن قريب . الا أن الاستاذ غيل — مان ادخل ثلاثة منها قيد البحث . وقد سماها « بالكواركات » .

وباختصار ، ان اصطلاح « الكواركات » (بترجمتها) الى اللغة الانسانية العادية يجب ان يعنى « هذيان » ، « غير معقول » ، « كابوس » ، « وحشية » ، ويمكن متابعة قائمة المعانى المرادفة بكل شجاعة .

---

* الكوارك — Quark احد الجسيمات الافتراضية الاساسية — المترجم .

وكم من الكواركات يجب ان نستخلص ؟ من المستحسن ، بلاشك ، ان يكون اقل ما يمكن . وان العدد الا صغر هو ثلاثة كما يبلو . ويرمز لها عادة في الكتب باحرف p ، n ، λ (يجب التفريق بينها وبين رموز البروتون والنترون الجسيم — λ ، التي سيرمز لها فيما بعد بـ P ، N ، Λ) .

وسنعتبر اللف الذاتي لدى هذه الكواركات ، كما اتفقنا ، مساويا للنصف ويمكن التعرف على الخصائص الاخرى من الجدول التالي

رمز الكوارك	الشحنة الكهربائية	درجة فردية الكترونات التكافؤ	الشحنة الباريونية
p	$+2/3$	0	1/3
n	$-1/3$	0	1/3
λ	$-1/3$	-1	1/3

وسنحاول الآن ان نركب الكواركات بحيث نحصل على جسيمات معروفة لنا . لنبدأ مثلا من البروتون P . فدرجة فردية الكترونات التكافؤ تساوي الصفر ، وبالتالي يجب ان يتحدد اختيارنا من p و n . ومن اجل ان يصبح العدد الباريوني مساويا للواحد ، يجب ان توجد ثلاثة كواركات في البروتون P . واذا اعتبرنا ان شحنة P تساوي + ١ ، فاننا نحصل على اختيار وحيد هو ppn . ولكنه ليس وحيدا . فلقد نسينا اللف الذاتي . يجب السعي من اجل ان يكون اللف الذاتي الاجمالي مساويا $\frac{1}{2}$. وهذا ممكن اذا كانت اللفات لاثنين من الكواركات — p متوازية واللف الذاتي لـ n موازيا ومعاكسا

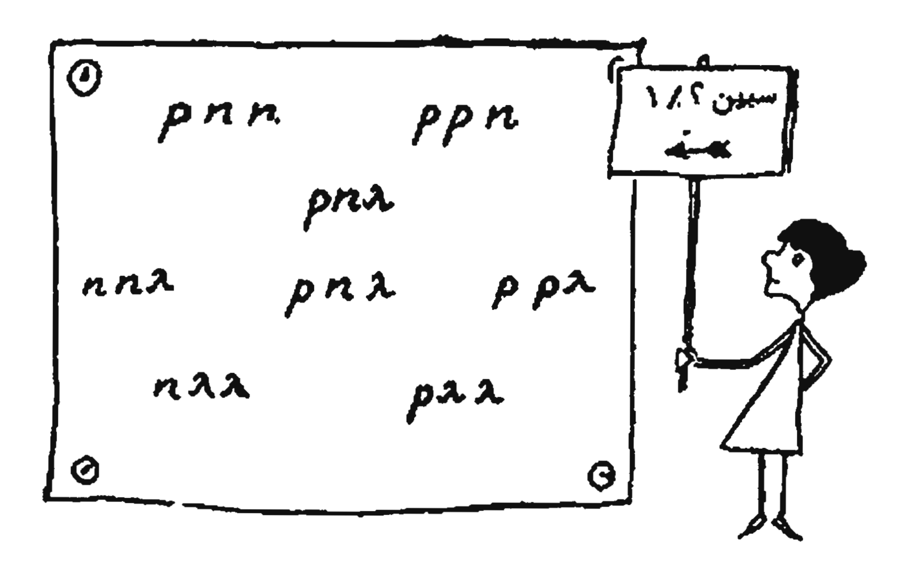
لاتجاههما (او لـ « المحور Z » كما يقول الفيزياتيون ، اى لاى اتجاه نختاره في الفراغ) . ويمكن ان نعبر عن هذا بالرموز :

$$P - p\uparrow p\uparrow n\downarrow$$

فالسهم على يمين الرمز يدل على اتجاه اللف الذاتي . لابد وانه قد توضح من هذا المثال كيفية تشكل الجسيمات من الكواركات ، وهي لا تعطى انطباعا معقدا . ولنحاول الآن أن نركب ثلاثة كواركات ونرى ماذا سينتج من ذلك .

سنتفق منذ البداية على تناول تركيبات ذات لف ذاتي يساوى ١/٢ . هذا يعني ان اتجاهات اللف الذاتي لجميع الكواركات غير متساوية . ان التحليل الدقيق جدا ، والمرتكز على مبدأ باولى ، الذي ذكر اعلاه ، يظهر انه ليس جميع تركيبات اللف الذاتي « مسموحة » . واذا كان اللف الذاتي الاجمالى مثلا يساوى ١/٢ فاننا يجب ان نستثني من البحث التركيبات من ثلاثة كواركات متساوية . وثمة سلسلة من الامور الدقيقة الاخرى ، والتي لن نتطرق لها . بل سنكتفي بذكر جميع التركيبات « المسموحة » ونصنفها في سلاسل . وسنفترض ان الشحنة الكهربائية داخل كل منها تتزايد من اليسار الى اليمين ، اما درجة فردية الكترونات التكافؤ فتبقى واحدة في سلسلة وتتناقص بمقدار واحد عند الانتقال من سلسلة عليا الى اخرى سفلى . وسنحصل على الجدول الآتي :

ولنحاول الآن ان نقابل كل ثلاثة كواركات بجسيماتها . ان التركيب ppn قد اصبح معروفا لنا — وهو بروتون . ومن السهل رؤية ان pnn تناظر النترون . اى ان السطر الاول هو دوبليت نوكلوني . والسنجليت الشحني $pn\lambda$ يمكن ان يناظر الجسيم Λ^0 ، والسطر الثالث يعطي تريبليت Σ^- ، Σ^0 ، Σ^+ ، اما في السطر الاخير فقد

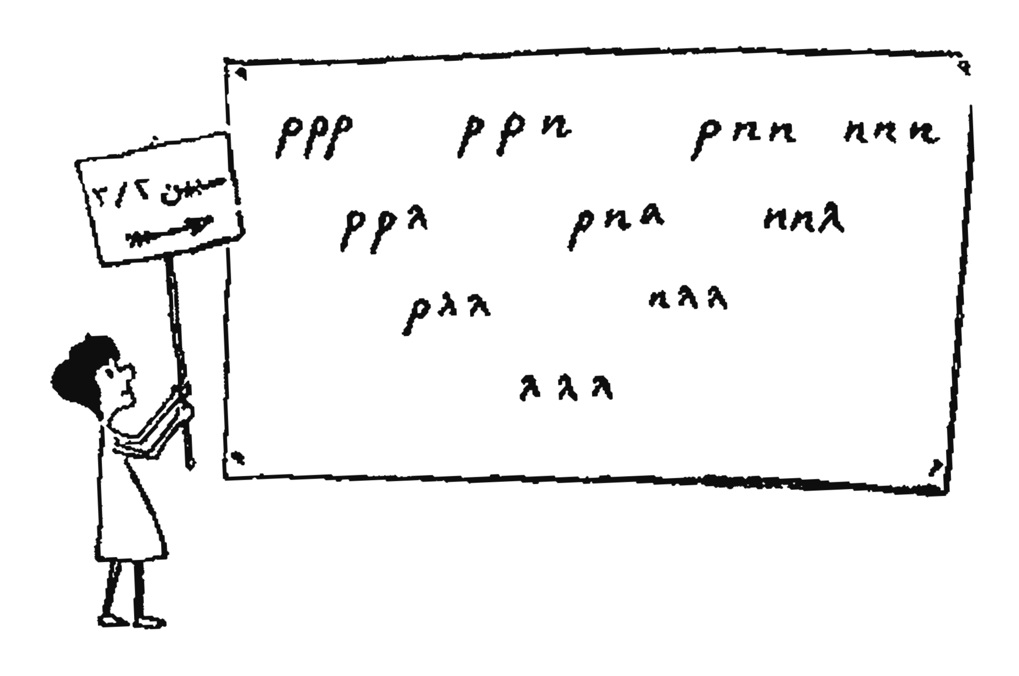


تكونت تركيبات كواركية تناظر الدوبليت Ξ — * من حيث قيمة درجة فردية الكترونات التكافؤ والشحنات الكهربائية . ان الامر بجرى بنجاح — ها نحن قد بينا ما يسمى بمجموعة باريونية ثمانية — مولتيبليت هائل يضم جميع الباريونات فى مجموعة واحدة .

ولنواصل تجميعنا الممتع هذا الشبيه بلعبة مكعبات الاطفال . ولنفرز مجموعات تتألف كل منها من ثلاثة كواركات ، بحيث يكون اللف الذاتى لكل مجموعة ٢/٣ وسنضع جدولا جديدا ، منطلقين ثانية من القواعد المعتمدة فى الحالة السابقة :

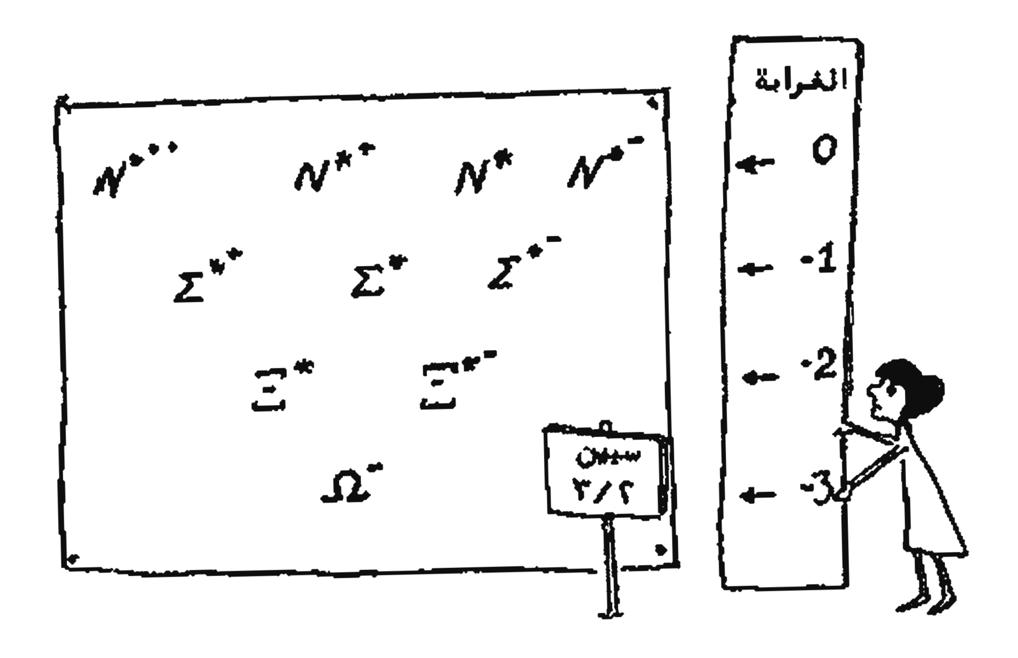
* السبب فى اننا حصلنا على تركيبين مختلفين $pn\lambda$! هو تعدد اتجاهات اللف ا تى فى هذه المجموعة الثلاثية . ان مبدأ باولى لا يسمح لجسيمين من نوع واحد بالتواجد فى حالة واحدة . الا ان الكواركات فى حالتنا هذه ، مختلفة اى ان مبدأ باولى لا يؤثر هنا .

لنختار الاتجاه p بمثابة اتجاه «محور Z» . هذا يسمح لنا ان نضع سهما يشير نحو الاعلى : $p\uparrow$ علم الرمز الاول فى المجموعة الثلاثية . ولنفرز الآن جميع لتركيبات لممكنة ، التى تعطى لنا ذاتيا اجماليا ٢/١ . وواضح جدا ان مجموعها اثنان فقط : $p\uparrow n\uparrow \lambda\downarrow$ و $p\uparrow n\downarrow \lambda\uparrow$. وهذا يفسر سبب ظهور $pn\lambda$ مرتين فى الجدول .



من هذا الجدول ينشأ انطباع اولى ، وهو اننا قد اخترنا من الجسيمات ما هو غير موجود اساسا فى الطبيعة . فمثلا ما هو الجسيم ppp ؟ ان شحنته هنا تساوى + ٢ ، ونحن نعلم ان شحنة Σ و Ξ والبروتون لا تزيد على الواحد . والجسيمات الرنينية ؟ لقد نسينا الجسيمات الرنينية — يجب ان ندخلها ايضا فى التصنيف العام . ثمة جسيم مهم ضمن الجسيمات الرنينية — هو البكر المشهور فى عائلة الجسيمات الرنينية : Δ^{++} . وقد وجد له مكان فى تصنيفنا . وسنجد امكنة للجسيمات الرنينية الاخرى ايضا . وبدون اضافات اخرى للحديث سنضع الجدول المرافق :

اللقاء المتنبأ به - ان كل ما هو موجود فى هذا الجدول اصبح معروفا لنا تماما. والنجمات تشير الى ان هذه الجسيمات الرنينية عبارة عن حالات اثارة للجسيمات . والاشارات الموجودة الى جانب النجمات تشير الى الشحنة الكهربائية . ولكن ثمة شىء جديد فى الجدول : الرمز Ω^- ، الذى لم نلتق به سابقا . ما هذا ؟ اننا لسنا



الوحيدين اللذين لم يلتقوا قبلا بهذا الجسيم . لكن العلماء النظريين اكدوا وجود جسيم كهذا ، وانه يجب البحث عنه . حتى انهم وصفوا هذا الجسيم باسهاب : يجب ان تكون لديه شحنة — ١ ، ودرجة فردية الكترونات التكافؤ — ٣ ، وعدد باريوني + ١ ، ولف ذاتي ٣/٢ . وزد على ذلك ، ان العلماء تنبأوا نظريا بوجود كتلة له . كيف ؟ الامر بسيط جدا .

واستنادا الى معطيات الجداول ، نلاحظ ان الكتل تكون اكبر كلما كانت السلسلة ادنى . كذلك نلاحظ ان الانتقال من سلسلة الى اخرى يرافقه اضافة كوارك — λ . وكما نرى ، لا توجد λ في السلسلة العلوية ، بينما في السلسلة التالية توجد λ واحدة ، وفي الثالثة - اثنتان ، واخيرا فان Ω^- تتركب من ثلاثة كواركات — λ . ولدى مقارنة نمو الكتلة مع ازدياد عدد الكواركات ، تنشأ في ذهننا نتيجة مفادها ان الكواركات — p و n (سنفترض ان كتلها متساوية) اخف من الكوارك — λ . وبمقارنة كتل الجسيمات

الرنينية في السلاسل المجاورة نحصل على فرق ١٦ر٠ من كتلة النوكلون (او ما يساوى ١٤٦ ملك . ا . ف . بوحدات الطاقة المعتمدة حديثا) . وهكذا ، فان Ω^- يجب ان تملك كتلة اكبر من كتلة Ξ^0 بـ ١٤٦ ملك. ا. ف. فاذا كانت كتلة Ξ^0 تساوى حسب الجدول ــ ١٥٣٠ ملك. ا. ف. فان كتلة Ω^- يجب ان تساوى ١٦٧٦ ملك . ا . ف ، هذا ما تنبأ به العلماء النظريون .

وفي ٣١ يناير (كانون الثاني) ١٩٦٤ وجد هذا الجسيم تجريبيا ! لقد اجريت في الولايات المتحدة الامريكية دراسة تصادم الجسيم ــ K مع البروتونات . وقد اكتشف الجسيم ــ Ω^- في التفاعل :

$$K^- + P \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$

وينحل Ω بعد مرور 10^{-8} من الثانية على ولادته في التفاعل :

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$$

وسبب فترة البقاء الكبيرة نسبيا ، هو ان الانحلال بواسطة « اقنية قوية اى الذى تسببه افعال متبادلة قوية ، محظور بسبب الحفاظ على درجة فردية الكترونات التكافؤ ، فان تغير درجة فردية الكترونات التكافؤ ممكن فقط ، كما قلنا ، عندما يتم الانحلال بسبب فعل متبادل ضعيف .

ان الدقة المدهشة التي تحققت بها تنبؤات النظرية في اكتشاف الجسيم ــ Ω^- ، اثارت انطباعا قويا للغاية . فاذا كانوا في السابق ينظرون للتصنيف وكأنه لعبة جميلة ، ظريفة ، ولكنها بعيدة عن الاقناع فان عقلية الفيزيائيين قد تغيرت بعد اكتشاف ــ Ω^- . لقد لاحت في الجو بشائر احداث عظيمة .

النجاحات تتزايد... — ان هذا التصنيف الجديد جلب النجاح تلو النجاح . وقد سجلت الميزونات والجسيمات الرنينية البوزونية في نظام عام ، بشكل طبيعي وبغير كلفة البوزونات - جسيمات ذات لف ذاتي صحيح . وبالتالي يجب ان تكون مؤلفة من اعداد زوجية من الكواركات . وبشكل ادق من اعداد متساوية من الكواركات ومضادات الكواركات — نريد الآن الحصول على جسيمات ذات شحنة باريونية صفرية . (الشحنة الباريونية لدى جميع مضادات الكواركات ، تكون ، كبقية الاعداد الكمية ، معاكسة بالاشارة لشحنة الكواركات التي تطابقها) ..

ان اكثر التركيب البسيطة لهذا النوع ، تكون على شكل $p\bar{p}$: ، $n\bar{n}$ ، $\lambda\bar{\lambda}$ ، $p\bar{n}$ ، $\bar{p}\lambda$ والخ . واذا كان اللف الذاتي موجها بشكل موازٍ ومعاكس ، فاننا نحصل على جسيمات ذات لف ذاتي صفري . فمثلا ، يجب ان نعتبر الميزون π^+ كتركيب $\bar{n}\downarrow p\uparrow$. وبالفعل فاننا نحصل على شحنة مساوية ١ = ١/٣ + ٢/٣ ، ودرجة فردية الكترونات التكافؤ تساوي الصفر ، وهو ما يلزم للميزون π .

والآن هل تريدون بناء ميزون غريب فردي ، مثلا K^+ ؟ اذن يجب اخذ تركيب $p\bar{\lambda}$. والشحنة الكهربائية لهذا التركيب تساوي ١ ، ودرجة فردية الكترونات التكافؤ تساوي ١ . ومن اجل الحصول على بوزونات ذات لف ذاتي صحيح ، يجب فرز ازواج من الكواركات — ومضادات الكواركات ، ذات لفات ذاتية متساوية التوجيه .

ربما لا داعي للتسجيل المفصل لهذا كله . فاننا نأمل ايها القارىء ان تثق ان الميزونات والجسيمات الرنينية حين تشكل

* يرمز لمضادات الكواركات بوضع شرطة فوقها .

المولتيبليتات الفخمة الخاصة بها ، تترتب كذلك مثل الباريونات في اطار التصنيف .

ولكن هذا لا يستنفد نجاح النظرية . وبفرض ان الكواركات تتمتع بعزوم مغنطيسية ، متناسبة مع شحناتها ، يمكن ايجاد النسبة بين العزوم المغنطيسية الناشئة عن هذه الكواركات الجسيمات ـ ايجاد النسبة بين العزوم المغنطيسية للبروتون والنترون مثلا. وهي تساوي ٣/٢ . اما التجربة فتعطي الرقم ١,٤٦ . ومن جديد ليس علينا الا ان نعترف بهذا التطابق الرائع .

... وتتوضح الصعوبات بشكل اكثر ـ في اللحظة التي بلغ فيها حديثنا عن الكواركات ذروته ، وحيث شعر القارىء بالثقة وبالتعاطف معها ، ظهرت فجأة ، كلمة صعوبات . هذا النجاح الباهر ، الذي يمكن تسميته انتصارا ، هذا التنبؤ بجسيم جديد ـ اضافة للجسيمات التي غدت معروفة ـ هذا الوصف الرائع لخواص الجسيمات ، وفجأة « صعوبات » ؟ .

ما هي ؟ اين هي ؟

عندما سئل غيل ـ مان ، الا توجد كواركات (نذكر بانه قد ادخل الكثير منها الى العلم) ، اجاب : « من يعلم... ؟

وبالفعل ، فاننا لا نعرف ذلك حتى الآن .

ان انصار الكواركات يبحثون عن اثبات لآرائهم حتى تاريخيا . وهم يتذرعون ، مثلا ، بالنظرية الجزيئية ، التي وضعت قبل ظهور البراهين المباشرة على وجود الجزيئات . عندئذ كان بامكاننا القول ان الظواهر تنشأ « اذا كانت الجزيئات موجودة » . ولكننا نعرف الآن ان الجزيئات موجودة فعلا . وفي الحقيقة ، يمكننا الاجابة على السؤال بشكل اقل حكمة .

كان ماكسويل يصوغ الديناميكا الكهربائية ، انطلاقا من التصورات حول الاثير الناقل للضوء ولكننا نعرف الآن ، ان لا وجود لمثل ذلك الاثير . وفوربيه استنتج معادلات الموصلية الحرارية ، التي مازالت تستخدم حتى يومنا هذا ، معتبرا ان ناقل الحرارة هو سائل ذو قابلية ، نفاذ عام — ولكن الذين يتذكرون السيال الحراري بما فيهم مؤرخو العلوم الطبيعية ، قلائل .

ان الخطوط التاريخية — شيء حساس . ولكن — تسألون — لم الالتجاء الى مصادر غامضة وغير مقنعة ، بدلا من التوجه الى التجربة ؟ الا يمكن اكتشاف الكواركات تجريبيا ؟ لا سيما وان الكواركات يجب ان تكون حرة ومستقرة ، نتيجة لشحناتها الكسرية .

لقد استمر البحث عن الكواركات سنين طويلة . واتضح انه من الاسهل لا البحث عنها ، بل صنعها ، باحداث اصطدامات بين الجسيمات . ثمة شيء اسهل : اذا كانت جميع الجسيمات تتكون من كواركات ، فانه يكفي اخذ احد هذه الجسيمات وطرقها بقوة — كي تأخذ شظايا الكواركات بالتبعثر في جميع الاتجاهات . هذا امر بسيط ، من حيث الفكرة طبعا ، ولكن لم يتمكن احد حتى الآن القيام بهذا . وربما لا يوجد المسرع القادر على ذلك .

ان تلك المسرعات موجودة لدى الطبيعة . وتظهر فعلا في بعض الاحيان ، جسيمات ذات طاقات فضائية ضمن الجسيمات الفضائية المحلقة بالقرب من حدود الاتموسفير الارضي . وهذه الجسيمات حين تتصادم مع نوى الذرات الداخلية في تركيب الاتموسفير ، يجب ان تولد الكواركات ، التي لا يبقى علينا سوى اكتشافها بسبب شحناتها الكسرية .

وهكذا ، بالرغم من بساطة ووضوح البرنامج ، فان النجاح الكامل لم يكن حليفه . ولم يتسنى لاحد ايجاد الكواركات حتى الآن .

لون وارومات* الكواركات – لم يستسلم الفيزيائيون رغم كل شيء ! فبدلا من ثلاثة كواركات راحو يدرسون اثناء عشر ، والآن اكثر من ذلك . وحتى في تعقيدات النموذج الكواركي (الداعية الى اليأس بشكل سافر) فان العلماء النظريين اخذوا ينظرون الى : ما يمكن اختياره من طرق للابحاث اللاحقة .

قبل كل شيء ، لماذا تعتبر ثلاثة كواركات قليلة ؟

هذا سؤال ، الجواب عليه بسيط للغاية . لقد لاحظ القراء اليقظون اننا بفرزنا اطقم مختلفة من الكواركات ، و بتركيبنا لمختلف الجسيمات ، قد نسينا مبدأ باولي . وبالفعل ، ففي البروتون ، مثلا تبين لنا وجود اثنين من الكواركات p ، ذات اللف اللوراني الواحد وبالرغم من ان هذين الكواركين يعتبرات فيرميونين . بمعنى ان حالتيهما في النظام يجب ان تختلفا بشيء ما . وهذه ليست « الاستقلالية » الوحيدة التي نقبلها ، وهذه الاستقلالية » علاوة على ذلك ، اجبارية . ان محاولاتنا « لتركيب » حتى الجسيم « Ω^- » من ثلاثة كواركات « λ » ستفشل لاننا لانستطيع التهرب من تطابق اللف الذاتي في زوج منها .

هل يجوز التخلي عن مبدأ باولي ؟ كلا ، والاقدام على ذلك صعب ، وليس هناك شيء ابدا يدعونا للشك به . وعدا ذلك هناك طريقة سهلة للغاية وطبيعية . وبديهي انه من اجل تجاوز الصعوبات المذكورة ، يكفي ان « نعلم » الكواركات ، وبعبارة اخرى يجب ان

---

* من المركبات العضوية التي تتميز بوجود حلقة واحدة على الاقل من جزيء البنزين تحوي ٦ ذرات من الكربون على شكل مسدس منتظم – المترجم .

تحتوى الكواركات على عدد كمي داخلي اضافي يتم من خلاله تمييز بعضها عن البعض الآخر ، لان الكواركات تتشابه في كل شيء .

وحين ادخلوا هذا العدد الكمي سموه « اللون » ، مجازا ، حيث لا صلة له باللون الحقيقي . وقد اقترحوا ان تعتبر الكواركات الثلاثة « ثلاثة كواركات ملونة » ، مثلا الازرق » و « الاحمر » و « الاصفر ». واضافوا كذلك كواركا رابعا الى الثلاثة السابقة (اى اضيفت ثلاثة الوان الى التسعة السابقة) وهكذا غدا عدد الكواركات مساويا : ٣ × ٤ = ١٢ .

وعوضا عن استعمال المصطلحات المعروفة ، يلحون احيانا الا نقول اربعة كواركات ، لكل منها ثلاثة الوان ، بل اربع اروماتات ، وثلاثة الوان للكوارك .

ان الامر ليس في الاصطلاح . طبعا ، بل في انه كان ضروريا ادخال تلك الاروماتات والالوان : الم نكثر من « الجسيمات الاساسية » في النظرية .

ان التخوف الاخير يرتكز على امكانية الحصول على اثنى كواركا (ولها نفس العدد من مضادات الكواركات) . ويمكن تجميع عدد خيالى من « الجسيمات » ، حتى ولو اخذنا فقط التركيبات الثلاثية (للباريونات) والثنائية (الميزونات) وهو ما يحتاج ايضا الى التبرير. فمن الواضح ان كثيرا من هذه التركيبات غير موجود في التطبيق ، اى انها « زائدة » ولكي يتعدل الامر ، وضعوا شروطا اضافية سنسميها بـ « مبدأ انعدام الالوان » وحسب هذا المبدأ ، فان جميع الجسيمات الموجودة يجب ان تكون « بيضاء » او « عديمة اللون » . وهذا يمكن تحقيقه اما عند تساوى الالوان في كل ارومات ، او عندما يكون بجانب كل كوارك ملون نظيره من نفس الارومات .

ان هذا التقيد يقلص عدد الاحتمالات بشدة ، ولكن رغم ذلك يبقى عدد كبير جدا . فمثلا ، اى طقم ، (او اية اطقم) يشكل البروتون ؟ كنا قد اجبنا من قبل : اثنان من الكواركات —p وواحد من الكوارك « . ولكنه الآن اصبحت جميع الكواركات — ثلاثية الالوان . على الرغم من ان مبدأ « انعدام الالوان » يوضح لنا ان الكواركات الثلاثة يجب ان تملك الوانا مختلفة . لكن ما هي هذه الالوان بالضبط — ان هذا غير معروف حتى الآن .

غير ان الامر هو واضح ، لايحتاج الى تدقيق . والكواركات ليست موجودة في الجسيمات وحسب ، بل هي تتحد بشيء ما ايضا . وان مثل هذه الوحدة كما ذكرنا سابقا تظهر في نظرية الكم نتيجة لتبادل المجال بالكمات وبالنواقل ذات الفعل المتبادل . ودور النواقل في اكثر التركيبات المشهورة تأخذه الجسيمات المسماة بـ « الغليون » — وهي مجموعة من الجسيمات ذات لف ذاتي يساوي « ، وكتلتها الساكنة تساوي الصفر . عندما يبعث او يمتص الكوارك غليوونا فان اروماته لا يتغير . ويمكن تصور الامر على النحو الآتي : ان استمرار التبادل بالغليوونات يفرض على كل كوارك ان يغير لونه . ونتيجة لذلك تبقى المجموعة كلها عديمة اللون دائما ، ولا يجرى اى توزيع للالوان بين الكواركات . ان لون زوج الكوارك مضاد الكوارك المشكل لاى من الميزونات (اى منها بالضبط — ذلك يعتمد على ارومات الكواركات) يمكن ايضا عدم تسجيله للسبب ذاته . وهذا ما يسهل لنا بشكل ملحوظ تحليل كل التركيبات الممكنة . وليس من الصعب ادراك ان طقم الغليوونات الذى سيؤمن نقل جميع الالوان بين جميع انواع الكواركات سيكون غنيا بما فيه الكفاية . ولكن الاصعب للغاية هو التوصل الى فهم نتائج النماذج

الاكثر اهمية فى نظرية التبادل القليوونى والتى تخص طاقة الفعل المتبادل للكواركات .

وكما فى النظريات « العادية » التى سردناها سابقا فهذه الطاقة ايضا تتعلق بالمسافة بين الجسيمات ذات الفعل المتبادل . ولكن هذه العلاقة مدهشة جدا فبعد ان اعتدنا ان يكون الفعل المتبادل بين الجسيمات متناسبا عكسيا مع المسافة بينهما ، نجد هنا ، فى نظرية الكواركات ، امكانية الاشارة الى النموذج الذى يدل على ان الفعل المتبادل يتناسب طرديا مع المسافة بين الكواركات .

وفى وضع كهذا ، ثمة اشياء كثيرة تتلون بالوان جديدة وممتعة جدا . فالكواركات المصفوفة بشكل مرتب « مرصوص » على ابعاد معينة داخل المناطق العادية ، الباريونية » و « الميزونية » يجب ان تكون تقريبا طليقة . وهنا يجب ان يظهر من تجارب تشتت او تبعثر الجسيمات ذات الطاقة الكبيرة ، مثلا الالكترونات ، او حتى البروتونات او النيترونات . وفى مثل هذا التبعثر يجب على الكواركات ان « تشعر » وكان الالكترونات جسيمات نقطية مستقلة تملأ « باطن » النوكلونات . وان تلك « الجسيمات الثانوية » النقطية والحرة والتى سموها بالرغم من الشكوك بالبارتونات ـ اصبحت الآن حقيقة ، فلقد بدأ يظهر ذلك فى التطبيق .

ثمة قضية اخرى اكثر اثارة واهمية نجد لها تفسيرا طبيعيا وهى انه بالرغم من الابحاث الدقيقة للغاية (بحثوا حتى فى تربة القمر) لم يستطع احد ايجاد الكواركات الحرة .

وبالفعل فان الكوارك لا يستطيع التخلص من قيد الفعل المتبادل بهذه السهولة . وحتى اذا حاولنا « سحبه » من جوف الجسيم لن نفلح ، لان اية طاقة هائلة سنبذلها ، ستصنع فى نهاية الامر على

توليد ازواج من الكواركات ومضادات الكواركات التي نلتقطها كميزونات.

ومن المناسب للغاية هنا ، ان ننوه ، بان الميزونات الوليدة (وولادتها يمكن ان تكون متوقعة الحدوث ، حتى دون تأثير خارجي) يمكن ويجب ان تظهر ك « نواقل للجيل الثاني » ، جيل الفعل المتبادل بين النوكلونات والباريونات الاخرى . وهذا المعنى فان الافعال المتبادلة القوية التي بحثت سابقا تقتصر على بعض الافعال المتبادلة الاكثر اساسية « الاولية » بين الكواركية .

وحسب تعبير الاستاذ ش . غليشوو – احد العلماء النظريين ، العاملين بنشاط في مجال « الكروموديناميكا » كما تسمى غالبا نظرية الكواركات الملونة – « ... الفعل المتبادل للادرونات * الغير ملونة – ليست سوى بقية ضعيفة من الفعل المتبادل الاساسي للكواركات الملونة . مثل قوى فان – در – فالز تماما بين الجزيئات – ليست سوى اثر ضعيف للقوى المغنطيسية الكهربائية التي تجذب الالكترونات نحو النواة ، قوى عنيفة ، مؤثرة بين الادرونات ليست سوى اثر ضعيف للقوى ، المؤثرة داخل ادرون منفصل » .

وليس من الصعب ادراك ، ان علم « الكروموديناميكا » يتناول ليس فقط الافعال المتبادلة القوية ، بل الضعيفة ايضا – علينا هنا ان نذكر من جديد بنماذج واينبيرج وسلام ، مع الاخذ بعين الاعتبار ان الكواركات الملونة للافعال المتبادلة الضعيفة للادرونات مسؤولة عن هذه الافعال المتبادلة ، وهي التي تتبادل بالبوزونات الشعاعية . سوى انه يوجد هنا شيء ما من حيث المبدأ : اذا كان التبادل بالغلوونات يغير فقط لون الكواركات ، ولا يمس اروماتها ، فان اشعاع او امتصاص البوزونات الثقيلة الشعاعية ، وبالعكس ، يغير

* اي الجسيمات التي تتبادل التفاعل بشدة .

الارومات فقط اى انه يسبب تحول الكواركات من نوع الى انواع أخرى.

الكوارك الفتان – وهنا من الانسب جدا ان نعود الى الحديث عن الكوارك الرابع . ثمة عدة اسباب تحمل العلماء النظريين على القول بضرورته . ومعروف جيدا، انه يمكننا ان نفصل اربعة ليبتونات – Lepton الى مجموعتين منعزلتين نوعا ما : يدخل في احداهما الكترون ونترينو الكتروني ، وفي الثانية – ميوون ونترينو ميووني . ويمكن لجسيم ما داخل كل مجموعة ان يتحول الى جسيم آخر لدى اشعاع (او امتصاص) بوزون شعاعي مشحون . وان عزلا مماثلا مرغوب فيه كذلك بالنسبة للكواركات . الا ان التوصل اليه ممكن فقط في حال ادخال كوارك رابع في البحث (طبعا ، في ثلاثة مظاهر لونية) .

ويدعون هذا الكوارك الرابع ، الجديد « بالفتان » ويرمز له بحرف c (من الكلمة الانكليزية « Charm » واحيانا يدعون الكوارك الرابع « تشارمي » دون اللجوء الى الترجمة) . وكالمعتاد ، فان تقديم كوارك جديد يعكس تقديم عدد كمي جديد – يدعون هذا العدد « بالفتان » . ان الانواع الاربعة للكواركات (للارومات) يمكن مقارنتها بواسطة الجدول على الصفحة التالية :

وكما ان درجة فردية الكترونات التكافؤ قد ادخلت ، لكي تفسر « فرملة » بعض العمليات (التي بحثت جزئيا اعلاه) ، كذلك فان الافتتان يجب ان يخدم في نهاية الامر ، في تفسير وقائع تجريبية مشابهة . ولعل اكثر تلك المعطيات اثارة هو اكتشاف جسيم جديد

---

* الليبتون : جسيم نووي ضئيل الكتلة (كالالكترون والبوزوترون) – المترجم .

الرمز	الكتلة ب (جم.ا.ف)	الشحنة الكهربائية	درجة فردية الكترونات التكافؤ	الافتتان
p	0.336	$+\frac{2}{3}$	0	0
n	0.338	$-\frac{1}{3}$	0	0
λ	0.540	$-\frac{1}{3}$	-1	0
c	1.5	$+\frac{2}{3}$	0	$+1$

في بروكهيفن وستيفورد كل على حدة في تشرين الثاني (نوفمبر) عام ١٩٧٤ . وهذا الجسيم الذي نرمز له ب J او Ψ ، عبارة عن ميزون ، يملك كتلة تقدر ب ٣٫١ جم . ا . ف (اكبر بثلاث مرات من الجسيم البروتوني) و « يعيش » ما يقارب ١٠ ^-٢٠^ من الثانية ، وهو زمن يفوق بالف مرة « ماينبغي » لاجل تلك الكتلة .

ان الكثير من خصائص الجسيم Ψ يمكن ان تجد تفسيرا اذا اعتبرت كتركيب من الكوارك — c ومضاده . ونظام كهذا يتمتع ب « افتتان خفي » ، لان الافتتان العام يساوي الصفر . ولدى اندثار c و c يمكن مثلا ان يتشكل فوتون افترضي وهذا بعد ذلك سيتحول الى زوج من الالكترون — بوزترون . ويمكن ان يجرى ايضا تفاعل عكسي : ظهور Ψ لدى اندثار زوج الالكترون — بوزترون . ان هذين التفاعلين (انحلال الجسيم — Ψ الى زوج من الالكترون — بوزترون وولادة Ψ لدى اندثار هذا الزوج) استخدما عند اكتشاف الميزون Ψ.

وتقول النظرية انه في النظام c — c الذي يتقلص انحلاله لدرجة ما بسبب وجود افتتان خفي ، ومن الممكن ايضا وجود بعض مستويات الطاقة ، التي تذكرنا بمستويات الطاقة في الذرة .

ان الكوارك ومضاد الكوارك الفتانان يحملان شحنات كهربائية متعاكسة بالاشارة ، ويجب ان يدورا حول المركز المشترك للكتل ، مشكلين شيئا ما يذكر كثيرا بال « بوزترونيوم » – وهو نظام ، يتألف من الكترون وبوزترون . ان هذا التقارب انعكس حتى في التسمية الطنانة « تشارموني » .

ان طاقم مستويات الطاقة للتشارموني ، المتنبأ به بالنظرية غني لدرجة ما . وطاقة هذه المستويات تستطيع استيعاب القيم ٤,٤ جم . ا . ف ، ٤,١ جم . ا . ف ، ٣,٩ جم . ا . ف ، ٣,٧ جم . ا . ف ، ٣,٥٥ جم . ا . ف ، ٣,٥ جم . ا . ف ، ٣,٤ جم . ا . ف . ، ٣,١ جم ا . ف ، ٢,٨ جم . ا . ف . وكما في الذرات ، يجب ان يرافق التنقل بين مختلف الاوضاع باشعاع الفوتونات (اذا كان الانتقال يتم الى مستوى أوطأ وهنا فقط تتمتع هذه الفوتونات بطاقات كبيرة جدا ، اى تعتبر كمات – γ قاسية . ان مختلف مستويات « التشارموني » يجب ان تظهر كميزونات مختلفة الكتل (مثلا ، في الثلاثة حتى الاربعة جم . ا . ف) وازمنة مختلفة الانحلال . ان بعضا من تلك الجسيمات بما فيها Ψ ، قد اكتشفت فعلا. البعض الآخر و الذى يتمتع بافتتان واضح كالجسيمات (اى التى لا يساوى عندها العدد الكمى الفتان صفرا) لم يتم ايجادها حتى الآن.

وفي الابحاث التى تجرى الآن تحتل التجارب النيترينوية مكانا هاما . فان النظرية تنبأت بأنه عند سقوط نيترينوميووني على نوكلون نشان ، يمكن ان يولد ميوون سالب وكواركان ، عند ذلك يكون واحد منها فتان والآخر – فريد . ان انحلال الكوارك الفتان يؤدى الى ظهور ليبتونين (μ^+ و ν_μ او e^+ و ν_e) . وعلاوة على ذلك بما انه عند انحلال الكوارك الفتان يظهر كوارك فريد ، واضافة الى



ذلك ان الكوارك الثاني من هذه الكواركات ينشأ عن نترينو اولي) .
ويجب ان يظهر في الحالة النهاية جسيمان فريدان. وتماما فان مثل
هذه التفاعلات ، المرافقة بظهور ليبتونين (وجسيمين فريدين) ،
تبحث بالتجارب التربنوية التي تجرى في عدد من البلدان .
ان اكتشاف الجسيم — Ψ ، ومن ثم الميزونات الاخرى ،
المتنبأ بها في نظرية الافتتان اثار موجة جديدة من الاهتمام بنموذج
الكواركات و « الكرونوديناميكا » . الا اننا لانملك البراهين النهائية
لصحة هذه التراكيب النظرية ، وان كان الكثير هنا يعتبر قريب
من الحقيقة والجمال . والتجارب الجديدة ضرورية . وضروري
ايضا التطوير المطرد للنظرية .

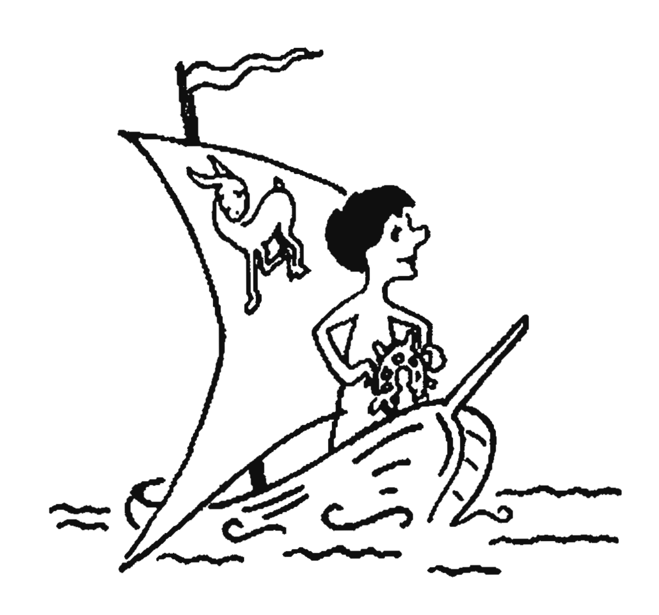
اننا نسمح لانفسنا في الختام ان نأتي بـ « صورة » الكوارك الفتان ،
المقترح من قبل القارو دي روخول في المؤتمر الدولي الثامن عشر
لفيزياء الطاقات العالية المعقود في تبليسي في صيف عام ١٩٧٦ .

اننا لا نعرف الكثير بعد . ولا نستطيع ، خاصة ، الجواب بدقة
على السؤال المطروح في بداية الكتاب : كم عدد الانواع الاساسية
للفعل المتبادل (وان كنا لزمن قريب واثقين تقريبا بأن عدد تلك
الانواع اربعة لا اكثر) .

ليس في الخلاصة من ملخص ، خلافا للعادة

يراعي لا يعرف الرياء
وقولة الحق في شعري ...
اي غيب سيخفيه القضاء
لست ادري ... لست ادري ...

ارخانجلسكي «محاكاة ادبية»



ان الصورة الفخمة والمتناسقة ترسم من قبل الباحث والانواع الاساسية من القوى تقدم لنا مفتاح ادراك العمليات المتنوعة اللانهائية . وهي تشبه بعضها البعض الى درجة كبيرة ، انها الانواع الاساسية للافعال المتبادلة وتربطها في نفس الوقت، روابط الوحدة الوثيقة .

انها مختلفة . نعم ، ان الاختلاف هائل بين قوى الجاذبية مثلا ، والقوى النووية . حتى مناطق نفوذها تختلف بشدة عن بعضها البعض . و « مناطق النفوذ » هذه ، يمكن كما يبدو لاول وهلة ، ان ترسم بوضوح تام لكل نوع من انواع القوى . ان قوى الجاذبية تسيطر على عالم الاجسام الكونية . والمنطقة التي تصبح فيها القوى المغنطيسية الكهربائية صاحبةالسيطرة — هي الذرات ، الجزيئات وقطع المادة التي تتألف منها . اما منطقة نفوذ القوى النووية ، فهي اضيق من ذلك — نويات الذرة . واخيرا نود التحدث عن الافعال المتبادلة الضعيفة ، اكثر من اى نوع آخر من انواع القوى ، لانها تحدد العمليات التي تجرى في المنطقة الالوفة للجسيمات بالذات ، التي تتألف منها المادة برمتها ، بما في ذلك النويات الذرية ايضا .

وهكذا نجد ان اقرب تصنيف اول للقوى من حيث مناطق تاثيرها ، يكون كما يلي :

الفضاء الخارجي — الذرة — النواة — الجسيم

العلامة الثانية — قيمة القوى او بصورة ادق ، قيم الطاقة المناظرة لمختلف الافعال المتبادلة . ان الفعل المتبادل النوري ، اقوى بمائة مرة تقريبا من الفعل المتبادل المغنطيسي ، و بـ ١٠٠٠٠٠ مليار مرة من الفعل المتبادل الضعيف . اما الفعل المتبادل التجاذبي بين

الكترونين ، فهو اقل من قوة كولون بعدد هائل من المرات ، يضطرنا الى كتابة عدد يحتوى على اثنين واربعين صفرا .

وكان في امكاننا ان نضيف الكثير الى حديثنا عن الاختلافات بين القوى الاساسية . ولكننا مهما تحدثنا عن الاختلافات الموجودة بينها ، لا يستطيع اى شيء بتاتا ان يحجب الناحية المبدئية الثانية من المسألة ، الا وهي وحدة كافة القوى .

ولنأخذ على الاقل ذلك السؤال نفسه حول تقسيم « مناطق النفوذ » . هل ان هذا التقسيم هو كما ذكرناه على الاطلاق ؟ وهل في الامكان عند الحديث عن الاشياء الكونية او الاجرام السماوية ، ان نهمل من حسابنا القوى النووية ؟ او القوى المغنطيسية الكهربائية ؟ او اخيرا الافعال المتبادلة الضعيفة ؟ لا ، طبعا لا ! لاننا لو فعلنا ذلك ، لشطبنا فيزياء الكواكب برمتها .

او شيء آخر . هل ان القوى النووية موجودة فعلا في النواة ؟ وهنا نضطر مرة ثانية الى اعطاء اجابة سلبية على هذا السؤال . ان كلا من القوى المغنطيسية الكهربائية ، والافعال المتبادلة او القوى الضعيفة ، تؤثر هنا تأثيرا جوهريا . حتى القوى التجاذبية او قوى الجاذبية التي « مسرح تأثيرها التقليدي » يتمثل في الاجرام السماوية او الاجسام الفضائية ، يمكنها كما يعتقد عدد من الباحثين العلميين ، ان تلعب ايضا دورا هاما في تشكيل الجسيمات نفسها .

وهكذا عند ترتيب الانواع الاساسية من الافعال المتبادلة حسب مراتبها ، نقتنع في الحال بان « وجه العالم » يتحدد بمجموعة هذه القوى برمتها متكاملة ، وبترتيبها الطبقي وتآلفها المتناسق بعمق .

ان العالم موحد . وهذا القول ينطبق على عالم الافعال المتبادلة ايضا . واخيرا يجب التحدث عما يلي : لقد ذكرنا سابقا ، ان هنالك

اهمية كبيرة للابحاث التى تعتمد على فكرة الدراسة الموحدة للافعال المتبادلة المغنطيسية الكهربائية والضعيفة . ومن يدرى ، ربما تكون هذه بداية الطريق المؤدية بنا الى ادراك الانواع المختلفة من الافعال المتبادلة (بما فى ذلك الانواع التى لم تبحث بعد لحد الآن) مثل ظهور بعض القوانين العامة المعيّنة ، التى تتحكم فى المادة . ومن يدرى ربما يساعدنا اقرار هذه الوحدة ، على ان نبحث على سبيل المثال ، الافعال المتبادلة النووية والضعيفة (ومعها ايضا بعض القوى اللامعينة التى لا نعرفها بعد الآن) باعتبارها تعبير عن وجود قوانين عامة معينة ، تتحكم فى المادة .

ولكن توجد هناك ايضا ، امكانية اخرى جذابة . ولاجل تفسير اية عملية او اية ظاهرة فيزيائية (طبيعية) ، يجب ان نعرف من حيث المبدأ ، كما ذكرنا سابقا ، تركيب المادة ، معادلات الحركة والقوة ، وهنا تكتشف خصائص معينة للوحدة العميقة فى داخل هذه العناصر الاساسية للنظرية الفيزيائية .

ان الوحدة فى تركيب المادة ، تتمثل قبل كل شيء فى ان الكون او العالم برمته ، يتألف من عدد غير كبير نسبيا من الجسيمات الاولية . وقد تحدثنا بما فيه الكفاية عن وحدة القوى . ان الكتاب بالذات مخصص لذلك . واخيرا ، توجد وحدة معينة لمعادلات الحركة . ولاشك فى ان ارقى شكل لوحدة الطبيعة ، الذى يمكن ان نتصوره فقط ، يتمثل فى اتحاد (اندماج) كافة العناصر الاساسية الثلاثة للنظرية الطبيعية . ان مثل هذا الاتحاد ممكن ، ويتضح ذلك من مثال نظرية النسبية العامة التى وضعها اينشتاين . فى هذه النظرية ، نجد ان المعادلات الموضوعة لمجال الجاذبية ، تحدد فى نفس الوقت ايضا ، مسار حركة الجسم .

وفي نظرية الكم الموحدة للمجال ، التي تجرى في الوقت الحاضر محاولات لصياغتها ، يتمثل اساسها في معادلة للحركة من نوع جديد . وهذه المعادلة تكتب للمجال الموحد (للمادة) ، والاشكال الممكنة ، لوجودها ، هي الجسيمات الاولية المختلفة .

والآن ما الذي يمكن ان نقوله عن نوعية هذه « البارامترية » الموحدة ، وكيف تسمى احيانا . الظاهر انه ليس هناك اى شيء محدد — اننا حتى لا نثق في وجودها بصورة عامة . ولكننا اذا اعتقدنا في ان « البارامترية » — هي حقيقة راهنة ، يمكننا عندئذ ان نخمن بعض خواصها الآن . وهذا قبل كل شيء يجب ان يكون مجال نصف كمية التحرك الذاتي (تؤخذ بالضبط كمية اللف ١/٢) . ما هو سبب ذلك ؟ اننا نريد ان نتأكد من ان كافة الجسيمات التي نلاحظها ، هي عبارة عن حالات مختلفة من اضطراب « البارامترية » ومظاهر مختلفة من مظاهرها . ولكن في بعض الجسيمات المعروفة ، نجد ان كمية اللف الذاتي ، تساوي صفرا ، وفي الجسيمات الاخرى تساوي ١/٢ ، وفي غيرها تساوي ١ وهلم جرا. والآن من اى شيء يمكن تركيب هذه الاصفار والوحدات والانصاف وهلم جرا ؟ انها تتركب من الانصاف فقط .

وبالتالي ، لكي تتمكن « البارامترية » من التكاثف (اذا صح لنا ان نطلق هذا المصطلح العلمي) على هيئة جسيمات اولية ، من الضروري ان تتبادل الفعل مع نفسها بشكل من الاشكال (لانه لا يوجد اى شيء آخر تتبادل الفعل معه ، سوى نفسها بالذات ، استنادا الى الفكرة الاساسية) . وهذا يفرض شروطا معينة على المعادلات ، التي تبين خصائص مثل هذه المادة : ان هذه المعادلات ، بلغة الرياضيين ، يجب ان تكون غير خطية .

ان المعادلات الخاصة بـ « البارامترية » تكتب منذ البداية على هيئة غير خطية . ويضاف الى ذلك عدد من الشروط المتعلقة بما يسمى بالتماثلات (سوف لا نتحدث هنا بالتفصيل عن هذا الموضوع) التي يجب ان تحدد شكل المعادلة « البارامترية » . ومن حيث المبدأ ، يجب ان تحدد هذه المعادلة اية جسيمات اولية بالذات يمكن ان تتواجد في الطبيعة ، تعطى طيف كتل الجسيمات الاولية ، وهنا يجب ان تعطى المعادلة في الحال ، وصفا للجسيمات المتبادلة الافعال مع بعضها البعض .

وهذا البرنامج الواسع جدا ، المنظور بجهود عدد كبير من العلماء ، بدا في وقت من الاوقات وكأنه قد ادى الى انتصارات ونجاحات معينة . ولكن اتضح بالنتيجة ان الحديث عن النجاح الحاسم ، هو حديث سابق لاوانه . وتجرى الآن محاولات لتغيير شكل المعادلة . وعلى سبيل المثال يدخل بدلا من « مجال اعظم » واحد ، عدد من « المجالات العظمى » ، فى آن واحد مختلفة من حيث طبيعتها ، لكنها متبادلة الفعل مع بعضها البعض ، وهلم جرا .

وربما يتذكر القارىء الآن ، نموذج الكوارك . وفى الحقيقة لماذا لا نقارن الاشكال او الانواع الاساسية لمجالات هذه « الجسيمات العظمى » ؟

وتوجد هنا بالفعل نقاط اتصال او تماس ، ولكن توجد اختلافات جوهرية ايضا .

ان نموذج الكواركات يخص قبل كل شىء مسألة معرفة الشىء الذى تتألف منه الجسيمات . اى ان تركيب الجسيمات — هو الشىء المهم قبل اى شىء آخر . وتأتى بعد ذلك فى الدرجة الثانية من الاهمية — مسألة الفعل المتبادل بين الكواركات ، وقوانين حركتها ، وباختصار هى المسألة المتعلقة بالديناميكا ، اى الحركة .

وبعد الاكتشاف القريب الامد للجسيمات ـ ٣ ، تعقدت المسألة الى حد اكبر . فلاجل تفسير كتلتها الكبيرة (التى تزيد على ثلاثة بروتونات) وفى نفس الوقت فترة حياتها الطويلة الشاذة ، التى تزيد باكثر من عشر مرات على الفترة « المقررة » لمجموعات الرنين (الريزونانس) ، اضطر العلماء الى ادخال تغييرات كبيرة فى النظرية ، تحدثنا عنها فى الفصل السابق . وهنا تبقى مسائل الوصف الدينامى بدون حل لحد الآن .

وفى النظرية اللاخطية تعتبر الديناميكا هى اساس كل شيء . والمعادلة الاصلية التى تصف « البارامترية » هى عبارة صيغة مركزة بالذات ، لكل من قوانين الحركة وقوانين الانفعال المتبادلة ، المقترنة بها اقترانا وثيقا فى هذه النظرية . وتتوقف هنا الناحية النموذجية المنظورة ، عن لعب اى دور بارز فى هذه المسألة . ولو توفرت فى هذه النظرية امكانية البحث المنظور الواضح على وتيرة النماذج ، يجب فى نهاية الامر ان نعتبر ذلك بمثابة ديناميكا مشروطة .

ويحتمل فى مرحلة عالية ما ، ان يلتقى المسلكان النموذجى والدينامى . ومن السابق لاوانه بعد ان نتحدث عن ذلك .

ان برنامج النظرية الموحدة للمجال ، جذابة من عدة نواح ، على الرغم من ان النجاح هنا ليس فى حكم المضمون بتاتا . وليست هناك اية ضمانات ى العلم على الاطلاق .

واذا اصبح بناء النظرية الموحدة للمجال ، واقعيا فى شكل ما من الاشكال ، فسوف يبدو الكتاب الخاص بقوى الطبيعة ، بشكل مختلف تماما عما هو عليه الآن . ولكن كيف سيبدو بالذات ـ سيبقى ذلك متروكا للحدس والتخمين فقط .

واستنادا الى رأى عدد من الباحثين ، يتطلب بناء النظرية

الجديدة ، اعادة النظر بصورة جوهرية فى كثير من المبادىء الاساسية ، وعلى وجه الخصوص فى الآراء المتعلقة بالفراغ والزمن .

وقد تحدثنا فى الفصل الخاص بقوى الجاذبية عن ان تغير الدينامية أدى الى اعادة النظر فى الهندسة الفيزيائية . وعندما اصبح من الواضح ان المجال المغنطيسى الكهربائى ، يوصف بقوانين اخرى مختلفة عن قوانين المادة « الميكانيكية » تحتم ان تحلل بعمق من جديد ، المسألة المتعلقة بمدى صحة آراء نيوتن حول الفراغ والزمن . ان هذا التحليل كما يعلم القارىء ، قد انتهى بوضع هندسة جديدة ــ هندسة نظرية النسبية .

وقد ظهر بان الخطوة المهمة التالية ــ الانتقال من النظرية التقليدية الى نظرية الكم ــ كان يجب ان يشتهر بوجهات نظر جديدة حول الفراغ والزمن . ولكن لم يحدث شىء من هذا القبيل . فقد بقيت هندسة نظرية الكم ، تقليدية بصورة خاصة . وبالاضافة الى ذلك ، نجدان نظرية النسبية ، غير الكمية من حيث اصلها وجوهرها ، لعبت ولا تزال تلعب لحد الآن دورا هاما للغاية فى نظرية الكم ، ويكفى ان نتذكر على الاقل ، بان اهم الخطوات فى « نسبية » ميكانيكا الكم ، قد ساعدت على فهم طبيعة الجسيمات المضادة . ان نظرية الكم اليوم ــ هى نظرية نسبية بالفعل . اذن ما هو الداعى للبحث عن هندسة جديدة فى هذه الحالة ؟

ومهما كانت نجاحات نظرية النسبية الكمية عظيمة ، فانها تحتوى على مشاكل جدية ايضا . ويظهر شبيهها فى الديناميكا الكهربائية التقليدية . ولو اعتبرنا الجسيمات المشحونة ، نقطية الحجم ، فسوف تكون الطاقة الكولونية لمجال مثل هذه الجسيمات ، كبيرة الى ما لانهاية . ويظهر لاول وهلة انه من السهل التخلص من

هذه اللانهاية (او كما يقال عادة التباعد) ، وذلك بالرجوع عن التأكيد على ان الجسيمات تعتبر نقطية . ولكن بناء نظرية الجسيم الممدود او اللانقطى ، بالطريقة التى توفر او تحقق شروط نظرية النسبية ، وفى الوقت نفسه ، تجعل حركة هذا الجسيم تلائم التصورات والافكار العادية حول السببية ، اى بحيث تؤثر على حالته فى الوقت الحاضر ، الحالة الماضية فقط ، اصبح من الامور المعقدة : لقد اتضح ان هذا البرنامج قد اصطدم بعقبات مبدئية . والوضع هو اكثر تعقيدا من ذلك فى نظرية الكم . وهذا الامر بالذات هو الذى يدفعنا للبحث عن طرق عامة جديدة لحل هذه المسألة . وقد تكون من بين هذه الطرق – طريقة اعادة النظر فى الهندسة « بالمقاييس الصغيرة » ، اى على مسافات تحت الصغيرة وبالنسبة للفترات الزمنية دون الصغيرة ايضا .

هذا من المحتمل تماما . « أما عن ماهية النظرية الجديدة ، فيمكننا اليوم ان نتناقش حولها فقط ، وان نقوم بالبحث ايضا . والشيء الوحيد الواضح هنا ، هو ما يلى : ان هذه النظرية ستساعدنا فى المستقبل على ادراك الطبيعة بصورة افضل . اننا ننشر انباء الاكتشافات الجديدة ، ليس لاجل تعكير الاذهان بل لتنويرها ، وليس لاجل تدمير العلم ، بل لتثبيته بصورة حقيقية » . هذا ما قاله العالم الشهير غاليليو قبل ثلاثة قرون ونصف من الزمن . وقد قال ايضا « تكمن هنا اسرار عميقة للغاية وافكار سامية جدا ، الى درجة انه بغض النظر عن معاناة المئات من المفكرين الجهابذة ، الذين واصلوا ابحاثهم على مدى آلاف السنين ، لم ينجح احد منهم بعد فى التوغل فى تلك الاسرار ، ولا تزال بهجة الابحاث والاكتشافات الخلاقة ، باقية لحد الآن » . ان هذه الكلمات لا تزال نافذة المفعول الى يومنا هذا دون ان تفقد شيئا ولو قليلا من اهميتها .

المحتويات

صفحة

المؤلفين ٥
ل الاول . عوضا عن المقدمة ٧
ل الثاني . قوى الجاذبية ٢٤
ل الثالث . القوى المغنطيسية الكهربائية ١٢٣
ل الرابع . تأثيرات القوى الكهربائية المغنطيسية ٢١٧
ل الخامس . القوى النووية ٣٥٣
ل السادس . الافعال المتبادلة الضعيفة ٤٠١
ل السابع . القوى والجسيمات الاولية ٤٧٣
مة . ليس في الخلاصة من ملخص ، خلافا للعادة ٥١١

УДК 530.1—927

Владимир Игнатович Григорьев, Геннадий Яковлевич Мякишев

СИЛЫ В ПРИРОДЕ

Научный редактор А. Хи[illegible]. Издательский редактор Р. Любович
Художник Е. К. Самой[illegible]. Художественный редактор Н. Юдкин
Технический редактор Л. П. Ермакова. Корректор Р. Макукян

ИБ № 2556

Сдано в набор 20.04.81. Подписано к печати 9.11.81. Формат 84×108⅟₃₂
Бумага типографская № 1. Гарнитура арабская. Печать высокая.
Объем 8,13 бум. л. Усл. печ. л. 27,30. Усл. кр. отт. 27,54.
Уч.-изд. л. 29,27. Изд. № 36/0636. Тираж 5[illegible] экз. Зак. 316. Цена 9 р. 66

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР». Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Ордена Трудового Красного Знамени
Московская типография № 7 «Искра революции»
Союзполиграфпрома Государственного
Комитета СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
Москва, 121019, пер. Аксакова, 13.

1704000000

Г $\frac{20402-192}{041(01)-81}$ 192—81

لقد صدرت الطبعة الروسية الاولى من هذا الكتاب قبل خمسة عشر عاما تقريبا . وخلال هذه الفترة الزمنية ، بقيت الافكار الرئيسية المتعلقة بالافعال المتبادلة الاساسية ، ثابتة باكملها دون تغيير . ولكن ظهرت الى جانبها افكار جديدة كثيرة . ولايقتصر الامر فقط على اكتشاف جسيمات جديدة وتأثيرات جديدة واصناف جديدة من الموضوعات الفيزيائية والفيزيائية الفلكية — وكل اكتشاف من هذا القبيل ، يضيف لمسات مهمة جديدة الى الصورة العامة لمظاهر الافعال المتبادلة الاساسية .


ISBN 978-9933-407-05-6
9 789933 407056